

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Марко Ј. Ланговић

**ПРОСТОРНО-ВРЕМЕНСКА ДИНАМИКА
ЕРОЗИЈЕ ОБАЛА ЈУЖНЕ МОРАВЕ**

докторска дисертација

Београд, 2022

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF GEOGRAPHY

Marko J. Langović

**SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF
RIVERBANK EROSION OF THE SOUTH
MORAVA RIVER**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2022

Ментор:

др Ненад Живковић, редовни професор

Универзитет у Београду
Географски факултет

Чланови комисије:

др Славољуб Драгићевић, редовни професор

Универзитет у Београду
Географски факултет

др Радислав Тошић, редовни професор

Универзитет у Бањој Луци
Природно-математички факултет

Датум одбране докторске дисертације: _____

ПРОСТОРНО-ВРЕМЕНСКА ДИНАМИКА ЕРОЗИЈЕ ОБАЛА ЈУЖНЕ МОРАВЕ

Сажетак: Проучавање процеса ерозије обала и латералног померања речног тока заузима значајно место у савременим физичко-географским истраживањима. Најважнији аспекти истраживања ерозије обала укључују анализу интензитета самог процеса, као и детерминисање основних узрока и сагледавање најважнијих последица. Предмет истраживања докторске дисертације је свеобухватна анализа процеса ерозије обала и латералног померања речног тока Јужне Мораве на четири репрезентативна сектора у периоду 1924-2020. године. Одабрани сектори (I-IV) лоцирани су у доњем и средњем делу тока Јужне Мораве којег карактеришу појава латералног померања и развоја меандара, као и постојање различитих флувијалних облика (деградираних обала, спрудова, одсечених меандара). Квантификација интензитета ерозије обала на интергодишњем нивоу заснована је на коришћењу бројних извора података, укључујући топографске и катастарске карте и ортофото снимке из различитих временских пресека. Важан сегмент истраживања укључује и анализу рецентног морфолошког развоја речног тока, кроз одређивање интрагодишњих и сезонских варијација интензитета ерозије обала. Анализа је базирана на подацима теренских истраживања и примени даљинске детекције (снимање терена, геореференцирање, обрада слика и формирање ортофото снимака) у периоду између новембра 2019. и новембра 2021. године.

Резултати су указали на постојање варијација у интензитету ерозије обала на свим истражним секторима у зависности од периода. Максималне вредности интензитета регистроване су током периода 1961-1969. године, док су значајне вредности идентификоване и у рецентном периоду. У складу са овим подацима су и резултати интрагодишње динамике, који показују веома високе вредности интензитета процеса, у периоду теренског истраживања од две године. Међу главним факторима који су имали утицаја на интензитет процеса издвајају се хидролошки фактори, на шта је указала статистичка зависност различитих параметара водности у односу на интензитет ерозије обала и латералног померања тока. Осим тога, истакнут је значај типа вегетације и њених основних карактеристика у процесу стабилизације обалског појаса. Истраживањем је утврђено да се последице ерозије обала манифестују кроз деградацију и трајни губитак земљишних ресурса обалског појаса, првенствено категорије пољопривредног земљишта. С тим у вези, процењени су значајни економски губици услед смањења пољопривредне производње. Добијени резултати и њихова интерпретација могу представљати значајну базу за будућа научна истраживања, али и као подлога за израду планова и стратегија у вези са управљањем водним и земљишним ресурсима, инвентаризацију деградираних обала, итд. Стога се значај овог истраживања огледа кроз његову научну и апликативну вредност.

Кључне речи: ерозија обала, латерално померање, Јужна Морава, интензитет, меандар

Научна област: Географија

Ужа научна област: Физичка географија

SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF RIVERBANK EROSION OF THE SOUTH MORAVA RIVER

Summary: Study of riverbank erosion and lateral channel migration processes is important topic in modern physical-geographical research. The most important aspects of the riverbank erosion research include the analysis of the process intensity, as well as the determination of its main causes and consequences. The subject of the doctoral dissertation includes comprehensive analysis of riverbank erosion and lateral channel migration of the South Morava River on four representative sectors in the period 1924-2020. The selected sectors (I-IV) are located in the lower and middle part of the South Morava River, which are characterized by the occurrence of lateral migration and the meander development, as well as the existence of different fluvial forms (eroded river banks, river bars, cut-off meanders). The quantification of the riverbank erosion intensity at the interannual level is based on the usage of numerous data sources, including topographic and cadastral maps and orthophotos from different time sections. An important segment of the research is the analysis of the recent morphological development, through the determination of intra-annual and seasonal variations of the riverbank erosion intensity. The analysis is based on field research measurements and application of remote sensing (drone surveys, georeferencing, image processing and orthophotos creation) in the period between November 2019 and November 2021.

The results indicated the variations in the intensity of riverbank erosion in all investigated sectors depending on the period. The maximum intensity values are registered during the period 1961-1969, while significant values are also recorded in the recent period. In accordance, the results of intra-annual dynamics show significant values of the process intensity, in the research period of two years. Among the main factors that have an impact on the process intensity, hydrological ones are singled out as most important, which is indicated by the statistical dependence of various hydrological parameters (river discharge) in relation to the intensity of the riverbank erosion and lateral channel migration. In addition, the importance of vegetation and its basic characteristics in stabilization process of the riverbank zone is highlighted. The further research indicated that the consequences of riverbank erosion are manifested through the degradation and permanent loss of land resources, primarily the category of agricultural land. In this regard, significant economic losses due to reduction of agricultural production are estimated. The obtained results and its interpretation represent a fundamental base for future scientific research, but also starting point for plans and strategies development related to the water and land management, inventory of eroded banks, etc. Therefore, the importance of this research is reflected in its scientific and applied value.

Key words: riverbank erosion, lateral channel migration, South Morava River, intensity, meander

Scientific field: Geography

Scientific subfield: Physical geography

САДРЖАЈ:

| | |
|--|----|
| 1. УВОД | 1 |
| 1.1. Предмет истраживања, циљ, задаци и радне хипотезе | 2 |
| 1.2. Дефинисање основних термина проучаване тематике | 4 |
| 1.3. Процес ерозије обала и латералне миграције - теоријски концепт | 6 |
| 1.4. Основни облици флувијалног рељефа | 8 |
| 1.5. Типови речне трасе и ерозија обала | 10 |
| 1.6. Допринос и значај дефинисане проблематике за научна истраживања и практичну примену | 13 |
| 2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА | 15 |
| 2.1. Преглед досадашњих истраживања у свету | 15 |
| 2.2. Преглед досадашњих истраживања у региону | 21 |
| 2.3. Преглед досадашњих истраживања у Србији | 23 |
| 3. ПРОСТОРНИ ОКВИР ИСТРАЖИВАЊА | 27 |
| 3.1. Основне физичко-географске карактеристике слива Јужне Мораве | 27 |
| 3.1.1. Геолошке карактеристике слива Јужне Мораве | 27 |
| 3.1.2. Геотектонске карактеристике слива Јужне Мораве | 30 |
| 3.1.3. Геоморфолошке карактеристике слива Јужне Мораве | 32 |
| 3.1.4. Климатске карактеристике слива Јужне Мораве | 36 |
| 3.1.5. Хидролошке карактеристике слива Јужне Мораве | 40 |
| 3.1.6. Вегетацијске карактеристике и коришћење земљишта у сливу Јужне Мораве | 41 |
| 3.2. Антиерозивни радови у сливу Јужне Мораве | 43 |
| 3.3. Дефинисање референтног простора истраживања | 44 |
| 4. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА | 49 |
| 4.1. Извори података и временска димензија истраживачког поступка (интергодишњи период) | 50 |
| 4.2. Методе за проучавање латералног померања и ерозије обала | 53 |
| 4.2.1. Поступак и етапе теренског истраживања рецентног стања обала Јужне Мораве | 53 |
| 4.2.2. Поступак и методологија дигитализације обалских линија | 58 |
| 4.2.3. Методе за квантификовање процеса латералног померања и ерозије обала | 59 |
| 4.2.4. Методе за детерминисање последица процеса ерозије обала | 62 |
| 4.2.5. Методе за проучавање узорка процеса ерозије обала | 64 |
| 5. ОСНОВНЕ ЕВОЛУТИВНЕ И МОРФОМЕТРИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТОКА ЈУЖНЕ МОРАВЕ | 67 |
| 5.1. Регулациони радови на току Јужне Мораве | 71 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 5.2. | Подручја експлоатације речног наноса дуж обале Јужне Мораве | 73 |
| 5.3. | Продубљивање речног корита Јужне Мораве | 75 |
| 6. | РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА | 77 |
| 6.1. | Просторно-временска динамика процеса латералног померања обала - сектор I | 77 |
| 6.2. | Просторно-временска динамика процеса латералног померања обала - сектор II | 83 |
| 6.3. | Просторно-временска динамика процеса латералног померања обала - сектор III ... | 89 |
| 6.4. | Просторно-временска динамика процеса латералног померања обала - сектор IV ... | 95 |
| 6.5. | Просторно-временска динамика процеса ерозије обала на свим секторима | 101 |
| 6.6. | Просторно-временска динамика процеса акреације на свим секторима | 107 |
| 6.7. | Анализа рецентне просторно-временске варијабилности процеса латералне миграције | 109 |
| 6.7.1. | Рецентна просторно-временска варијабилност M1 | 110 |
| 6.7.2. | Рецентна просторно-временска варијабилност M2 | 112 |
| 6.7.3. | Рецентна просторно-временска варијабилност M3 | 114 |
| 6.7.4. | Рецентна просторно-временска варијабилност M4 | 119 |
| 6.7.5. | Рецентна просторно-временска варијабилност M5 | 121 |
| 6.7.6. | Рецентна просторно-временска варијабилност M6 | 123 |
| 6.7.7. | Рецентна просторно-временска варијабилност M7 | 126 |
| 6.8. | Анализа рецентне просторно-временске варијабилности ерозије обала | 129 |
| 6.9. | Резултати рецентне просторно-временске варијабилности осталих параметара | 136 |
| 7. | ПОСЛЕДИЦЕ ИНТЕНЗИТЕТА ЕРОЗИЈЕ ОБАЛА | 139 |
| 7.1. | Губитак и промена намене коришћења земљишта у интергодишњем периоду | 140 |
| 7.1.1. | Изгубљене површине земљишта дуж сектора I | 142 |
| 7.1.2. | Изгубљене површине земљишта дуж сектора II | 144 |
| 7.1.3. | Изгубљене површине земљишта дуж сектора III | 147 |
| 7.1.4. | Изгубљене површине земљишта дуж сектора IV | 149 |
| 7.2. | Губитак и промена намене коришћења земљишта у рецентном периоду | 151 |
| 7.3. | Економске последице губитка земљишта | 153 |
| 7.4. | Еколошке последице услед процеса ерозије обала | 154 |
| 8. | ФИЗИЧКО-ГЕОГРАФСКИ УЗРОЦИ ЕРОЗИЈЕ ОБАЛА | 158 |
| 8.1. | Варијације основних климатских елемената као узрок процеса ерозије обала | 158 |
| 8.1.1. | Температура ваздуха | 159 |
| 8.1.2. | Количина падавина | 161 |
| 8.2. | Хидролошки узроци интензитета ерозије обала | 167 |
| 8.2.1. | Анализа средњегодишњих вредности протицаја Јужне Мораве | 169 |
| 8.2.2. | Анализа сезонских и месечних вредности протицаја Јужне Мораве | 179 |
| 8.2.3. | Резултати примењених техника аутокореалције и спектралне анализе | 185 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 8.2.4. | Анализа дневних и екстремних вредности протицаја | 188 |
| 8.2.5. | Утврђивање односа између параметара водности и ерозије обала | 190 |
| 8.2.6. | Варијације водности у рецентном периоду као узрок ерозије обала..... | 199 |
| 8.3. | Транспорт речног наноса..... | 206 |
| 8.4. | Утицај вегетационог покривача на интензитет процеса ерозије обала | 208 |
| 9. | ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА..... | 215 |
| 10. | ЛИТЕРАТУРА..... | 222 |

Списак табела:

| | |
|--|-----|
| Таб. 1. Хипсометријска структура рељефа у сливу Јужне Мораве | 33 |
| Таб. 2. Основни подаци о метеоролошким станицама у сливу Јужне Мораве..... | 36 |
| Таб. 3. Средњемесечне и средњегодишње температуре ваздуха (°C) у сливу Јужне Мораве | 37 |
| Таб. 4. Процентуални удео одређених класа намене коришћења земљишта | 41 |
| Таб. 5. Основни извори података коришћени за потребе сагледавања интергодишњих промена..... | 52 |
| Таб. 6. Просечно одступање координата референтних тачака пре и након вршења геореференцирања уређајем Trimble GNSS..... | 56 |
| Таб. 7. Општи подаци о реализованим снимањима терена..... | 57 |
| Таб. 8. Индекс промене дужине Јужне Мораве у периоду 1924-2021. године..... | 67 |
| Таб. 9. Индекс промене дужине Јужне Мораве према специфичним деоницама | 68 |
| Таб. 10. Број подручја експлоатације речног наноса по km речног тока Јужне Мораве..... | 74 |
| Таб. 11. Вредности максималне и просечне латералне миграције и индекса синусоидности M1 и M2 (CI) (1924-2020) | 79 |
| Таб. 12. Вредности основних морфометријских карактеристика M1 и M2 2010. и 2021. године | 82 |
| Таб. 13. Вредности максималне и просечне латералне миграције и индекса синусоидности M3(CII) током периода 1924-2020. године | 85 |
| Таб. 14. Вредности основних морфометријских карактеристика M3 и Mн 2021. године | 89 |
| Таб. 15. Вредности максималне и просечне латералне миграције и индекса синусоидности M4 (CIII) (1924-2021) | 92 |
| Таб. 16. Вредности основних морфометријских карактеристика M4 2010. и 2021. године | 93 |
| Таб. 17. Вредности максималне и просечне латералне миграције и индекса синусоидности M5, M6 и M7 (1989-2020)..... | 97 |
| Таб. 18. Вредности основних морфометријских карактеристика M5, M6 и M7 2021. године | 99 |
| Таб. 19. Вредности ерозије обала према меандрима и секторима (1924-2020) | 101 |
| Таб. 20. Вредности акреације према меандрима и секторима (1924-2020)..... | 108 |
| Таб. 21. Интензитет померања обале M1 (новембар 2019 – новембар 2021)..... | 110 |
| Таб. 22. Рецентне промене индекса синусоидности деградирани обале M1 | 111 |
| Таб. 23. Интензитет померања обале M2 (новембар 2019 – новембар 2021)..... | 112 |
| Таб. 24. Рецентне промене индекса синусоидности деградирани обале M2 | 113 |
| Таб. 25. Интензитет померања обале M3 (новембар 2019 – новембар 2021)- низводнији део | 115 |
| Таб. 26. Интензитет померања обале M3 (новембар 2019 – новембар 2021) - узводни део..... | 117 |
| Таб. 27. Рецентне промене индекса синусоидности деградирани обале M3 | 119 |
| Таб. 28. Интензитет померања обале M4 (новембар 2019 – новембар 2021)..... | 120 |
| Таб. 29. Рецентне промене индекса синусоидности деградирани обале M4 | 121 |
| Таб. 30. Интензитет померања обале M5 (новембар 2019 – септембар 2021. године)..... | 122 |
| Таб. 31. Рецентне промене индекса синусоидности деградирани обале M5 | 123 |
| Таб. 32. Интензитет померања обале M6 (новембар 2019 – септембар 2021) | 124 |
| Таб. 33. Рецентне промене индекса синусоидности деградирани обале M6 | 124 |
| Таб. 34. Интензитет померања обале M7 (новембар 2019 – септембар 2021) | 127 |
| Таб. 35. Рецентне промене индекса синусоидности деградирани обале M7 | 127 |
| Таб. 36. Вредности рецентног интензитета ерозије обала свих меандара | 129 |
| Таб. 37. Резултати примењене мултикорелативности над три квантификоване варијабле | 136 |
| Таб. 38. Изгубљене површине земљишта (1938-2020) дуж сектора I (M1 и M2)..... | 142 |
| Таб. 39. Изгубљене површине земљишта (1938-2020) дуж сектору II (M3)..... | 145 |
| Таб. 40. Изгубљене површине земљишта (1938-2020) дуж сектора III (M4) | 147 |
| Таб. 41. Изгубљено земљиште у рецентном периоду дуж четири меандра општине Алексинац..... | 151 |
| Таб. 42. Вредности коефицијента корелације падавинских параметара и ерозије обала..... | 166 |
| Таб. 43. Основне информације о хидролошким станицама на току Јужне Мораве | 169 |
| Таб. 44. Тренд средњегодишњих и сезонских вредности протицаја (1924-2020) | 170 |
| Таб. 45. Тренд средњегодишњих и сезонских протицаја за периоде 1924-1969. и 1970-2020. године | 172 |
| Таб. 46. Рангирање година по водности (1924-2020) | 176 |

| | |
|--|-----|
| Таб. 47. Коефицијент корелације између показатеља ерозије обала и хидролошких параметара | 194 |
| Таб. 48. Однос између параметара ерозије обала A_E , M_{av} и M_{max} према одабраним хидролошким показатељима Q_{sr} и број водних дана | 201 |

Списак слика:

| | |
|---|----|
| Сл. 1. Основни појмови у вези са процесом латералне миграције речног тока и назначени облици настали њеним дејством..... | 8 |
| Сл. 2. Основни типови речне трасе на примеру Јужне Мораве | 12 |
| Сл. 3. Карактеристичне реке Србије које су у целости или делимично обухваћене истраживањима процеса ерозије обала и латералне миграције..... | 24 |
| Сл. 4. Генерализована геолошка карта слива Јужне Мораве | 28 |
| Сл. 5. Детаљан приказ геолошке грађе истраживаних сектора: | 30 |
| Сл. 6. Хипсометријска карта слива Јужне Мораве..... | 34 |
| Сл. 7. Карта углова нагиба слива Јужне Мораве..... | 35 |
| Сл. 8. Средњемесечне вредности падавина у сливу Јужне Мораве (1924-2020)..... | 38 |
| Сл. 9. Изохијетна карта слива Јужне Мораве са означеним падавинским станицама..... | 39 |
| Сл. 10. Речни систем Јужне Мораве са истакнутим хидролошким станицама на главном току..... | 40 |
| Сл. 11. Различите категорије начина коришћења земљишта у сливу Јужне Мораве | 42 |
| Сл. 12. Локалне географске карактеристике и начин коришћења земљишта дуж тока Јужне Мораве на деоници око првог, другог и трећег истраживаног сектора..... | 46 |
| Сл. 13. Локалне географске карактеристике и начин коришћења земљишта дуж тока Јужне Мораве на деоници око четвртог истраживачког сектора | 47 |
| Сл. 14. „Flow chart“ истраживачког процеса..... | 49 |
| Сл. 15. Део речног тока Јужне Мораве на сектору Алексинац – Моравски Бујмир из 1894. године | 51 |
| Сл. 16. Постављање референтних плоча за потребе снимања терена | 55 |
| Сл. 17. Положај референтних тачака на истраживачком сектору I и његово преклапање са google тарот и компарација исечака ортофото-а пре поступка прецизног геореференцирања..... | 56 |
| Сл. 18. Обрађени ортофото снимци истраживачког сектора I у три временска пресека | 57 |
| Сл. 19. Пример дигитализације обалске линије у односу на различите физичко-географске карактеристике обалског појаса..... | 59 |
| Сл. 20. Основни геометријски елементи меандра ($M1$, $M2$) | 61 |
| Сл. 21. Промене индекса синусоидности Јужне Мораве према временским интервалима у оквиру издвојених деоница | 71 |
| Сл. 22. Просечен меандар код Тешице..... | 73 |
| Сл. 23. Положај речног тока Јужне Мораве на простору сектора I (1924-2020)..... | 78 |
| Сл. 24. Компаративни приказ деформације десне обалске линије $M1$ и леве обалске линије $M2$ (2003-2021) | 81 |
| Сл. 25. Динамика максималног и просечног максималног латералног померања обала $M1$ и $M2$ (2003-2021)..... | 81 |
| Сл. 26. Основне морфометријске карактеристике $M1$ и $M2$ према рецентном стању (2021) | 82 |
| Сл. 27. Корелационе матрице параметара максималне ширине, дужине и индекса синусоидности $M1$ и $M2$ (2003-2021)..... | 83 |
| Сл. 28. Положај речног тока Јужне Мораве на сектору II (1924-2021)..... | 84 |
| Сл. 29. Компаративни приказ деформације десне обалске линије $M3$ (2003-2021) | 86 |
| Сл. 30. Динамика максималног и просечног максималног латералног померања обала $M3$ и Mn (2003-2021) | 87 |
| Сл. 31. Основне морфометријске карактеристике $M3$ и Mn према рецентном стању (2021) | 88 |
| Сл. 32. Корелациона матрица параметара максималне ширине, дужине и индекса синусоидности $M3$ (2003-2021) | 89 |
| Сл. 33. Положај речног тока Јужне Мораве на сектору III (1924-2021)..... | 90 |
| Сл. 34. Компаративни приказ деформације леве обалске линије $M3$ (2003-2021)..... | 92 |
| Сл. 35. Динамика максималног и просечног максималног латералног померања $M4$ (2003-2021)..... | 93 |
| Сл. 36. Основне морфометријске карактеристике $M4$ према рецентном стању (2021)..... | 94 |

| | |
|---|-----|
| Сл. 37. Корелациона матрица параметара максималне ширине, дужине и индекса синусоидности М4 (2003-2021)..... | 94 |
| Сл. 38. Положај речног тока Јужне Мораве на сектору IV (1924-2020)..... | 96 |
| Сл. 39. Компаративни приказ деформације обалских линија М5, М6 и М7..... | 98 |
| Сл. 40. Динамика максималног и просечног максималног латералног померања обала М5, М6 и М7 (2003-2021)..... | 99 |
| Сл. 41. Основне морфометријске карактеристике М5, М6 и М7 према рецентном стању (2021) ... | 100 |
| Сл. 42. Корелационе матрице параметара максималне ширине, дужине и индекса синусоидности М5, М6 и М7 | 101 |
| Сл. 43. Област ерозије и акреације М1 и М2 (1924-2020) појединачно по фазама..... | 102 |
| Сл. 44. Област ерозије и акреације М3 (1924-2020) појединачно по фазама..... | 104 |
| Сл. 45. Област ерозије и акреације М4 (1924-2020) појединачно по фазама..... | 105 |
| Сл. 46. Област ерозије и акреације М5, М6 и М7 (2001-2020) појединачно по фазама..... | 106 |
| Сл. 47. Однос индекса промене дужине тока и ерозије обала М3 и М4 | 107 |
| Сл. 48. Однос индекса промене дужине тока и области акреације М3 и М4 | 109 |
| Сл. 49. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М1 | 111 |
| Сл. 50. Деградирана обала М1, на положају П2 (новембар 2019. године)..... | 111 |
| Сл. 51. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М2 | 113 |
| Сл. 52. Деградирана обала М2, на положају П2 (новембар 2021. године)..... | 114 |
| Сл. 53. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М3 (низводни део)..... | 116 |
| Сл. 54. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М3 (узводни део)..... | 118 |
| Сл. 55. Деградиране обале М3 на низводнијем сектору и у средишњем делу..... | 119 |
| Сл. 56. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М4 | 121 |
| Сл. 57. Деградирана обала М4 на положају П5 у новембру 2020. године..... | 121 |
| Сл. 58. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М5 | 122 |
| Сл. 59. Деградирана обала М5 на положају П5 у августу 2020. године | 123 |
| Сл. 60. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М6 (низводнији део)..... | 125 |
| Сл. 61. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М6 (узводнији део)..... | 125 |
| Сл. 62. Деградирана обала М6 на положају П2 и П3 у августу 2020. године | 126 |
| Сл. 63. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М7 | 128 |
| Сл. 64. Деградирана обала М7 на положају П1 и П2 у новембру 2019. године..... | 129 |
| Сл. 65. Ерозија обала М1 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)..... | 130 |
| Сл. 66. Ерозија обала М2 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)..... | 131 |
| Сл. 67. Ерозија обала М3 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)..... | 132 |
| Сл. 68. Ерозија обала М4 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)..... | 133 |
| Сл. 69. Ерозија обала М5 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)..... | 133 |
| Сл. 70. Ерозија обала М6 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)..... | 134 |
| Сл. 71. Ерозија обала М7 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)..... | 135 |
| Сл. 72. Запремина изгубљеног земљишта по меандрима у рецентном периоду | 137 |
| Сл. 73. Категоризација последица ерозије обала и њихова манифестација | 140 |
| Сл. 74. Деградиране и угрожене парцеле СI, СII и СIII према иницијалном стању..... | 141 |
| Сл. 75. Изгубљене површине земљишта у периоду 1938-2020. године на сектору I (М1 и М2) | 143 |
| Сл. 76. Деградирана одређених категорија земљишта према катастарским општинама: Алексиначки Бујмир, Нозрина и Моравски Бујмир | 144 |
| Сл. 77. Изгубљене површине земљишта у периоду 1938-2020. године дуж сектора II (М3)..... | 146 |
| Сл. 78. Деградирана одређених категорија земљишта према катастарским општинама Дражевац и Тешица | 147 |
| Сл. 79. Изгубљене површине земљишта у периоду 1938-2020. године дуж сектора III (М4) | 148 |
| Сл. 80. Деградирана одређених категорија земљишта на територији катастарских општина: Грејач, Велики Дреновац и Доња Трнава | 149 |
| Сл. 81. Ортофото снимак из 2011. године са назначеним губитком земљишта према категоријама у периоду 2020/2011. године на сектору IV (М5, М6 и М7)..... | 150 |
| Сл. 82. Типови обала према кластер анализи | 156 |
| Сл. 83. Тренд средњегодишњих вредности температуре ваздуха на станицама Ниш и Лесковац ... | 160 |

| | |
|--|-----|
| Сл. 84. Компаративни приказ изохијетних карата | 163 |
| Сл. 85. Просечне максималне дневне вредности количине падавина и вредности апсолутних максимума током истраживаног периода | 165 |
| Сл. 86. Однос броја дана са регистрованим падавинама и броја дана са падавинама већим од 10 mm у периоду 1924-2020. године | 165 |
| Сл. 87. Хипотетички повољно стање за повећање интензитета ерозије обала укључујући локалне услове територијалног оквирног истраживања | 168 |
| Сл. 88. Тренд средњегодишњих протицаја на ХС Мојсиње, ХС Корвинград и ХС Грделица..... | 171 |
| Сл. 89. Резултати Pettitte теста на ХС Корвинград – средњегодишњи (а), летњи (б), зимски (в); и ХС на ХС Грделица – летњи (г) и јесењи (д) протицај..... | 174 |
| Сл. 90. Хистограми средњегодишњих вредности протицаја (1924-2020) | 175 |
| Сл. 91. Тренд средњегодишњих протицаја Јужне Мораве и броја водних година према пентадама | 179 |
| Сл. 92. Однос најводнијих и најсушније године у периоду 1924-2020. године према просечној години | 180 |
| Сл. 93. Хидрограм средњемесечних вредности протицаја на три ХС (1924-2020)..... | 182 |
| Сл. 94. Колебање коефицијента варијације средњемесечних вредности протицаја на три ХС | 182 |
| Сл. 95. Дисперзија резултата МК теста над средњим месечним вредностима протицаја | 183 |
| Сл. 96. Резултати примењеног метода аутокорејације и спектралне анализе | 186 |
| Сл. 97. Резултати аутокорејације сезонских протицаја (1924-2020) на ХС Корвинград..... | 187 |
| Сл. 98. Резултати спектралне анализе сезонских протицаја (1924-2020) на ХС Корвинград..... | 188 |
| Сл. 99. Удео максималних дневних протицаја по месецима..... | 189 |
| Сл. 100. Тренд максималних дневних протицаја за период 1924-2020. године | 190 |
| Сл. 101. Математичка зависност одабраних хидролошких параметара (ХС Мојсиње) према интензитету максималне латералне миграције М3 | 191 |
| Сл. 102. Математичка зависност одабраних хидролошких параметара (ХС Корвинград) према интензитету максималне латералне миграције М3 | 192 |
| Сл. 103. Математичка зависност просечног броја дана са Q_{bd} (ХС Корвинград) у односу на интензитет процеса латералног померања тока и ерозије обала М3 | 194 |
| Сл. 104. Вероватноћа појаве максималних годишњих протицаја на ХС Мојсиње | 197 |
| Сл. 105. Плавне зоне дуж три истраживана сектора..... | 198 |
| Сл. 106. Средњемесечни протицаји у периоду новембар 2019 – новембар 2021. године | 200 |
| Сл. 107. Однос између Q_{sr} репрезентативних периода према интензитету ерозије обала | 202 |
| Сл. 108. Хидрограми дневних протицаја у периоду 20. новембар – 20. јануар | 205 |
| Сл. 109. Поплава Јужне Мораве (13. јануар 2021. године) – поплављене пољпривредне површине.... | 206 |
| Сл. 110. Средњегодишње варијације транспорта суспендованог наноса (kg/s) према средњегодишњем протицају (m^3/s) у периоду 1967-2007. године..... | 207 |
| Сл. 111. Ортофото снимак и DSM приказ М4 у новембру 2020. године са назначеним сегментима појаве високих дрвенастих врста | 211 |
| Сл. 112. Пример деградираних обала М4 у уском сегменту прекривене дрвенастом вегетацијом са формираним „гомџама“ који наставаљају да штите обалу и тип деградираних обала прекривене зељастом вегетацијом и ораничним површинама | 211 |
| Сл. 113. Фазе сукцесивног ширења вегетације по спруду конвексне обале М2 | 212 |
| Сл. 114. Резултати примењеног ВЕИ индекса..... | 213 |

1. УВОД

Савремена физичко-географска истраживања подразумевају свеобухватно сагледавање проблематике интензитета и динамике природних процеса, као и стања и последица које они узрокују. Стога је примена интегралног аспекта проучавања неминовна, јер се због међусобне условљености, релације, подударња и систематичности, природни процеси не могу окарактерисати као конвенционални, нити одвајати од система природа-човек. Посматрано са аспекта научних истраживања и практичних чињеница, као најактуелнији и најинтензивнији географски процеси, детерминишу се процеси морфолошке динамике речних токова. Латерално померање речних обала је константан и активан процес карактеристичан за меандрирајуће секторе речних токова равничарских терена (Menting & Meijles, 2019; Sylvester et al., 2019; Langović, 2020). Велике реке алувијалних предела представљају сложене и веома динамичне геоморфолошко-хидролошке системе од великог природног, друштвено-економског и еколошког значаја (Hooke, 2008), док се њихове алувијалне равни због присутности интензивних процеса латералног померања, ерозије и акумулације еродираниог материјала сматрају најугроженијим рељефним системима на свету (Debnath et al., 2017).

Комплексност процеса латералног померања речног корита и ерозије обала сагледавају бројне научне дисциплине са различитих аспеката, а у складу са дефинисаним циљевима истраживања. За потребе детерминисања различитих утицаја које процес има на окружење, али и ранијих узрока који су довели до варијација у интензитету процеса, примењују се знања и методе из области географије, економије, екологије, грађевинско-урбанистичких наука, социологије, физике, као и многих ужих дисциплина у оквиру њих. Геопросторне промене положаја обала током различитих временских периода, у корелацији са бројним природним и антропогеним узрочницима, представљају кључни елемент за примену географских проучавања и различитих метода и техника. Разумевање узрочно-последичних веза које су карактеристика природних флувијалних система могуће је уз потпуну примену географске логике и аспеката истраживања. Сваки вид утврђивања просторних варијација у дужим или краћим временским серијама захтева коришћење географског метода инкорпорираниог кроз бројне квалитативне, квантитативне и картографске принципе. Према томе, интердисциплинарна природа одређене тематике не подразумева преузимање и коришћење методологије, концепта и резултата других научних дисциплина, већ даје могућност њеног сагледавања са различитих становишта, међу којима се издваја и географски аспект који је примењен у овој студији.

Бројна научна истраживања (Hooke, 2008; Yao et al., 2011; Dragičević et al., 2017a; Yang et al., 2018; Bertalan et al., 2019) показала су да на интензитет ерозије обала и латералног померања утиче велики број географских фактора који се могу сврстати у две групације - природни и антропогени. Варијације вредности показатеља различитих физичко-географских фактора имају пресудан утицај на просторну и временску динамику ерозије обала, те се јавља потреба њихове комплексне анализе. Посебно се међу њима издвајају хидролошки фактори (Blanka & Kiss, 2011; Lotsari, et al., 2014; Grecu et al., 2016; Dragičević et al., 2017a) који су детерминисани варијацијама вредности годишњих, месечних, дневних и максималних протицаја, као и дејством екстремних хидролошких догађаја (Langović et al., 2020). Они су директно условљени глобалним климатским променама и варијацијама климатских елемената на локалном нивоу, укључујући, пре свега, измене два најважнија елемента, температуре ваздуха и количине падавина. Интензивну просторно-временску динамику ерозије обала условљавају и други високо динамични природни фактори (морфометријске карактеристике речног тока, псамолошке карактеристике), али и неопходни природни услови који омогућавају настанак процеса (геолошке и геоморфолошке одлике терена, геотектонске карактеристике) (Langović, 2020). Прелазну варијанту између рецентно динамичних и стагнирајућих фактора, чине биогеогеографски услови и типови земљишта, који су зависни од локалних географских услова. Значајна је улога вегетационог покривача у процесу смањења директних ефеката

екстремних хидролошких утицаја на обалски појас (van Dijk, 2013; Bertalan et al., 2018., Yang et al., 2018).

Истраживања интензитета и последица самог процеса постала су значајнија услед повећане интеракције са антропогеним активностима, што је условило њихово међусобно деловање. Наиме, популациони и економски притисци на обалски појас река утичу на нарушавање стања природне равнотеже речне динамике, односно на убрзавање самог ерозивног процеса. Манифестација антропогених активности на интензитет процеса ерозије обала огледа се амбивалентно: кроз регулације речног корита и обала (просецање речних кривина, изградња обалоутврда и камених депонија, конструкција вештачких акумулација, експлоатација речног наноса) као непосредан начин; и кроз активности становништва у сливу (антиерозивни радови, изградња инфраструктурних објеката, коришћење земљишта, дефорестација, итд.) као посредан начин (Depret et al., 2017; Langović, 2020). Све поменуте активности својом појавом утичу на интеракцију између природних (физичких и биолошких) процеса динамике речног тока. У тренутку када су морфодинамички услови измењени под утицајем природних или антропогених фактора, река тежи поновном успостављању стања равнотеже и то захваљујући процесу ерозије коју врши са конкавне стране обале и процесу акумулације еродираних материјала дуж конвексне стране. Сложене међусобне интеракције свих датих фактора утичу на то да интензитет и динамика ерозије обала и промене њиховог положаја имају различите вредности дуж тока једне исте реке (Langović, 2020).

Поред изучавања еволуције и генезе истраживаног процеса и њиховог идентификовања са могућим узроцима, највећи значај проучавања ове тематике односи се на импликације које поменуте промене изазивају. За разлику од неких других природних процеса код којих су последице по окружење тренутне, неповратно деградирање и трајно уништавање земљишта обалског појаса под утицајем ерозије обала истиче важност изучавања последица овог процеса (Yousefi et al., 2017; Langović et al., 2021). Градацијски посматрано, најзначајније последице процеса ерозије обала укључују угроженост становништва и насеља. Поред тога, у току еволуције и развоја, поткопавајући своју конкавну обалу, река уништава пољопривредно обрадиво и шумско земљиште лоцирано дуж ње, док истовремено на супротној страни обале формира ново земљиште на којем се најчешће настањује хидрофилна вегетација. Затим, интензивна морфодинамика обалског појаса одражава се и на измене вредности одређених хидролошких параметара (промене у вредностима водостаја, протицаја и брзине воде), као и на еколошке процесе и односе који владају у природној средини (угроженост станишта биодиверзитета). На крају, дејство ерозије обала може утицати и на појаву водопривредних проблема. Осим процеса латералног померања речног тока, значајно је напоменути и објаснити процес вертикалног померања или продубљивања речних корита и последица које изазивају (Langović, 2020). Упркос великом броју негативних утицаја на природно окружење и животну средину, могу се издвојити и позитивни ефекти морфолошке еволуције речних обала. Због тога је у теорији и пракси на почетку потребно детерминисати да ли се померање обала на једном профилу може/мора третирати као процес који утиче на деградацију земљишта, или као могућност за еколошко очување и експанзију мочварних екосистема. У другој деценији 21. века, у научној литератури (Bertalan et al., 2018) овакав еколошки аспект проучавања ефеката померања речних обала добио је на важности (Langović, 2020).

1.1. Предмет истраживања, циљ, задаци и радне хипотезе

Предмет истраживања докторске дисертације представља утврђивање просторног и временског аспекта процеса ерозије обала и латералног померања речног корита Лужне Мораве, као и комплексно и систематско сагледавање узрока, интензитета и последица деловања овог процеса. Формирање меандара представља рецентни геоморфолошки процес који је веома заступљен у средњем и доњем току Лужне Мораве, а карактеришу га бројне деградиране обале, које настају деловањем флувијалне ерозије. Стога је ток Лужне Мораве

одабран за ово истраживање, односно изабране су природне речне кривине на којима је могуће утврдити интензитет померања речних обала. За потребе израде докторске дисертације, а у складу са дефинисаним предметом, из истраживања су изузети сектори на којима су вршени регулациони радови у виду просецања меандара. Четири истражна сектора, су према различитим критеријумима, детерминисана као она са постојаним интензитетом процеса ерозије обала, и њихова еволуција праћена је кроз различите временске пресеке у 20. и 21. веку (1924., 1938., 1960., 1969., 1988., 2000., 2010. и 2020.). Квантификацијом и представљањем резултата у вези са интензитетом ерозије обала добијена је основа за касније проучавање главних узрока и последица процеса. У циљу утврђивања рецентних промена, као главна срж докторске дисертације, посебно је обрађена рецентна морфолошка еволуција четири сектора (новембар 2019 – новембар 2021) на којима су квантификоване значајне вредности интрагодишње и сезонске динамике ерозије обала и латералног померања корита. На тај начин је извршена примена савремених метода у детектовању, анализи и доношењу закључака у вези са проучаваном проблематиком.

Основни циљ израде докторске дисертације је да се свеобухватно сагледају и детерминишу географски узроци и дефинишу последице процеса ерозије обала реке Јужне Мораве, као и да се детаљно прикаже динамика процеса кроз различите временске секвенце. Поред еволутивне реконструкције померања обала Јужне Мораве, у различитим временским интервалима (1924-2020.) и утврђивања рецентног стања (2019-2021.), извршено је и квантификовање динамике и компарација добијених резултата за дефинисане временске оквире. Значајан сегмент дисертације представља и утврђивање вредности интергодишње и сезонске морфодинамике речних обала, које су добијене спроведеним теренским истраживањима. Крајњи циљ односи се на процену ефеката који поменути процеси имају на социо-економске системе, кроз валоризацију насталих промена и њихових утицаја на животну средину.

У складу са дефинисаним предметом истраживања и постављеним циљевима дисертације, издвојени су следећи задаци:

- Анализа иностране и домаће научне и стручне литературе, релевантних елабората и докумената који третирају предметом истраживања дефинисану проблематику; формирање јединствене базе података референтних за предмет изучавања процеса ерозије обала;
- Утврђивање територијалног и временског оквира истраживања, као и одабир сектора на току Јужне Мораве, релевантних за истраживање генезе и интензитета ерозије обала;
- Одређивање и квантификовање интензитета померања речних обала за сваки сектор обухваћен истраживањем и на основу постављене методологије компарација добијених резултата за различите временске периоде;
- Коришћење ортофото снимака и ГИС технологије у циљу картографског приказивања и детаљног сагледавања генезе одабраних меандара;
- Непосредна теренска истраживања која укључују примену даљинске детекције ради утврђивања рецентног стања померања обала, као и праћење интергодишње и сезонске варијабилности речних обала Јужне Мораве;
- Утврђивање варијација природних (хидролошких, климатолошких, орографских, вегетацијских) и антропогених (коришћење земљишта, социо-економске карактеристике, регулациони радови) појава и процеса који детерминишу дефинисане процесе; квантификовање наведених фактора, одређивање варијабилности и промена њихових показатеља кроз дефинисани временски период;
- Обрада добијених података о претходно утврђеним детерминантама из различитих статистичких извора (РХМЗС, Републички завод за статистику) и теренске базе података и њихова детаљна анализа;

- Систематизација добијених резултата у циљу проучавања последица и деградационих промена проузрокованих дејством ерозије обала (угроженост насеља и становништва, економске последице, губитак и промена коришћења земљишта);
- Утврђивање будућих трендова интензитета процеса на основу детерминисаног рецентног стања са крајњим циљем давања препорука за даља истраживања.

На основу представљеног оквира истраживања, постављене су следеће радне хипотезе чија ће се релевантност доказати/оспорити кроз докторску дисертацију:

Хипотеза 1: Речне обале Јужне Мораве се у доњем и средњем делу тока, у просторно-временском оквиру, интензивно латерално померају.

Хипотеза 1а: Процес ерозије обала посебно је интензиван средином проучаваног периода због јаког дејства различитих показатеља природних фактора и одсуства антропогених.

Хипотеза 2: Интензитет промене на референтним секторима Јужне Мораве карактерише се различитим вредностима због варијације локалних физичко-географских услова који поспешују/редукују интензитет ерозије обала.

Хипотеза 3: Варијације хидролошких параметара, а посебно интензитет и учесталост појаве екстремних вредности показатеља, имају најзначајнији утицај на појаву високог интензитета процеса ерозије обала.

Хипотеза 4: У последње две године постојан је тренд интензивирања процеса ерозије обала, али и акумулације еродираниог материјала на свим референтним секторима.

Хипотеза 5: Деградирајуће дејство процеса ерозије обала Јужне Мораве на простор и животну средину посебно се уочава кроз последицу губитка пољопривредног земљишта лоцираног уз конкавну обалу реке.

1.2. Дефинисање основних термина проучаване тематике

Темељ спровођења физичко-географске студије, по принципу претходно установљених предмета, циљева и задатака истраживања, представља термилошко дефинисање и разликовање основних појмова коришћених у стручној и научној литератури, а у складу са проучаваном тематиком. Због комплексности истраживаног процеса, важно је сагледати шири опсег и у анализу теоријског оквира истраживања укључити објашњење термина попут: меандрирање, латерално померање речног тока, латерална миграција, бочно померање, акумулација, акреација, синусоидност, итд. Неки од стручних појмова представљају синониме, а у зависности од уже научне дисциплине која врши проучавање процеса биће дата дефиниција једног од устаљених термина, док између других појмова постоје значајније разлике. Заједничка карактеристика свих поменутих израза је да се њима описују и објашњавају морфодинамичке одлике једног речног тока. Морфодинамика речног тока (енг. *River morphodynamic*) представља одраз интеракције између ерозије обала, транспорта и акумулације речног наноса чији је крајњи исход речна морфологија (енг. *River morphology*) (Church & Ferguson, 2015).

Под појмом стабилност речних обала (Das et al., 2014) подразумева се одсуство приметних промена у положају обалске линије у оквиру дефинисаног временског периода. Нарочито распрострањен и концептуални термин динамике речног тока представља меандрирање реке које се може дефинисати као природни геоморфолошко-хидролошки процес речног тока који резултира у градијентској миграцији, ерозији обала и акумулацији еродираниог материјала (Ahmed & Fawzi, 2011). Исти представља део нормалне динамике речних токова низијских предела и карактеристика је како бројних река у свету (Амазон, Мисисипи, Јангцекјанг, итд.) тако и река у Србији (Дунав, Сава, Велика Морава, Тиса, итд.). Реке које слободно меандрирају су углавном плитке и широке, са знатно нижим средњим брзинама и већом специфичном снагом тока од осталих река. Процес меандрирања реке омогућава њено латерално померање,

што представља најзначајнију одлику оваквог типа токова. У научној литератури и практичним елаборатима неретко су у употреби различити синоними овог термина: латерално померање, латерална миграција, бочна миграција, бочна морфодинамика. Brice (1984) дефинише процес миграције речног тока (енг. *Lateral migration*) као поступак промене положаја речног корита, где два саставна елемента миграције, ерозија обала и акумулација еродираног материјала, утичу на повлачење или напредовање леве и десне обалске линије. Rutherford и сар. (2007) предлаже сличну дефиницију, те под миграцијом подразумевају померање целе дужине конкавне (спољне) обале реке углавном у низводном смеру. Исти аутор наглашава да миграција речног корита представља природни процес који описује понашање речног тока током одређеног временског периода. Деловањем процеса латералне или бочне миграције реке могу настати различити периодични или перманентни облици флувијалног рељефа у зависности од доминантности једне од две поменуте компоненте овог процеса.

Ерозија обала (енг. *Riverbank erosion*) представља прву компоненту процеса латералне миграције речног тока и укључује одвајање и уклањање обалског материјала било као појединачних зрна или груписано деловањем флувијалног процеса (Lawler et al., 1997). Rutherford и сар. (2007) су предложили једноставнију дефиницију процеса ерозије обала алудирајући на суштину одношења седимената са обале. У ширем контексту термин ерозија обала обухвата сваки вид деградације обалског појаса реке, језерске или морске површине. Важно је истаћи неопходност диференцирања процеса ерозије обала од процеса ерозије речног дна (енг. *Bed scour*). Сви токови у одређеном степену врше ерозију обала. Реч је о свеprisутном природном процесу низијских и котлинских терена, па је дискутабилно говорити да постоје одређени типови речних токова поменутих области код којих је у потпуности елиминисан процес. Изразити и екстремни хидролошки догађаји могу направити сигнификантне промене у положају обалских линија упркос спроведеним мерама за њихову превенцију (Hill, 1993). Због тога је значајно приликом дефинисања самог процеса говорити о његовом интензитету и локацији на којој се јавља у односу на то да ли је процес заиста постојан. Zaimes & Schultz (2015) стопу ерозије обала дефинишу као функцију геометрије и структуре обала, климатолошке и хидролошке варијабилности, типа и густине вегетације, активности живих организама и антропогених радова.

Процес ерозије обала може се манифестовати у неколико варијанти у зависности од локалних карактеристика речног тока и обалског појаса. Тако се у научно-стручној литератури детерминишу термини као што су рушење обала и повлачење обале. Под процесом рушење обале (енг. *Bank failure*) подразумева се масовно урушавање обале или њеног дела, као одговор на дејство тока и њену седиментолошку, вегетацијску и техничку нестабилност (Lawler et al., 1997). Рушење обале се може означити и појмом „колапс обале“ (енг. *Bank collapse*) што би представљало врсту деформације или деструкције обалског појаса (Shu et al., 2012; Duan et al., 2018). Термин „повлачење обале“ (енг. *Bank retreat*) представља универзалнију варијанту претходног појма и односи се на бочно или латерално померање обале као резултат ерозије или њеног урушавања (Lawler et al., 1997; van Duijn, 2018). Дејством процеса ерозије обала настају еродибилне, рушевне или деградирани обале. Нестабилност речне обале или лакоћа којом се угрожене обале могу еродовати и уклонити дефинише се као еродибилност обале (енг. *Bank erodibility*) (Roslan et al., 2012). Речни нанос таложи се на конвексним странама меандара формирајући поља или области акумулације (енг. *Accumulation*) или акреације (енг. *Accretion*) (Vargas-Luna et al., 2016).

С обзиром на установљен предмет истраживања, у овој дисертацији користиће се неколико главних термина који су претходно објашњени – у ширем контексту латерална и бочна миграција речног корита, и у ужем контексту процес ерозије обала и акумулације транспортованог наноса. Сва три термина имају интердисциплинарну ноту, односно различите научне дисциплине користе ове називе у сврху истраживања сегмента за које су компетентни. Оваква одлука има утемељене у многим страним и домаћим физичко-географским изворима литературе, који проблематику процеса третирају са просторног и временског аспекта.

1.3. Процес ерозије обала и латералне миграције - теоријски концепт

Свеобухватно сагледавање динамике природних и антропогених процеса на одређеном простору подразумева систематско истраживање речног слива. Као најважнија хидролошка и основна водопривредна јединица одређеног простора, са јасно утврђеним границама, речни слив се може посматрати као тип отвореног географског система који ослобађа одређену енергију и врши размену „материја“ и „супстанци“. Сваки природни систем, па и речни слив функционише по принципу уздужне размене енергије и материја (лонгитудинална или вертикална повезаност) и бочне размене (бочна или латерална повезаност) (Zerringer et al., 2018). Главна река представља централну јединицу речног слива, заједно са својим основним елементима - речним коритом, речном долином и њеним странама. Разумевање појма речни ток, подразумева спознају утицаја бројних фактора који на исти делују кроз процесе транспорта воде и речног наноса, ерозију обала и акумулацију материјала.

Посматрање дејства једног природног процеса изоловано или самостално од других природних или антропогених процеса заступљених на територији датог речног слива представља изразито захтеван поступак и један је од највећих изазова са којима се истраживачи и научници суочавају у академској пракси. Слична ситуација је заступљена и током опсервације процеса ерозије обала на конкретном примеру. Примену концептуалног модела проучавања доминације једног природног процеса (ерозије обала) над другим, у хипотетичком речном сливу предложио је Lawler (1995), наглашавајући да процес никада није изолован од других. Примарна примена овог модела, да изолује ефекте појединих процесних група, могла се остварити само у узводним деловима речног тока, јер се њихово дејство манифестује у низводнијим деловима где су интеракције процеса најјаче. У складу са тим, интеракције између процеса ерозије земљишта и флувијалне ерозије имају посебну важност у контексту морфодинамике речних токова (Rinaldi & Darby, 2008).

У претходно дефинисаном систему сваки утицај спољних фактора за последицу има појаву морфодинамичких и морфометријских измена вредности параметара који описују положај речног корита и обалског појаса одређеног речног тока. То се најбоље може сагледати кроз пример варијација у вредностима протицаја - повећање вредности показатеља могу довести до пораста ширине речног корита, индекса синусоидности, таласне дужине меандра, док његово смањење има супротан ефекат. Rosca и сар. (2015) су у свом истраживању проучавали динамику речних токова лоцираних у различитим географским регионима и дошли до закључака који показују да речни токови увек теже модификовању својих морфометријских карактеристика у зависности од хидролошких промена. У ширем опсегу, од климатских услова зависиће и фреквенција појаве екстремних хидролошких дешавања, па су у истом истраживању издвојене области у којима су очекиване веће варијације параметра. Поменутом трансформацијом или модификовањем речни ток осигурава одржавање континуираног процеса динамичке равнотеже или динамичког еквилибријума.

Проучавање равнотежног или стабилног стања река и динамике процеса прилагођавања започето је почетком 20. века инжењерским студијама, подстакнуто потребом решавања одређених водопривредних проблема (нпр. изградња система за наводњавање у Индији и Египту). Рани географски радови средином прошлог века били су првенствено квалитативног карактера, са фокусом на опису алувијалне равни и уочавању одређених промена. Иако је након стогодишњег периода истраживања од стране стручњака из различитих области објављен већи број радова посвећен овој теми, Richard (2001) почетком 21. века наглашава да *„joш увек не постоји универзално прихваћен скуп критеријума за одређивање да ли је цео или део речног система у динамичкој равнотежи“* (Richard, 2001: 10).

Природни физички закони утичу на то да река балансира две главне компоненте које утичу на одржавање равнотеже - количину воде и транспорт речног наноса. Од првих научно-истраживачких и стручних радова заснованих на тематици флувијалног баланса анализирани

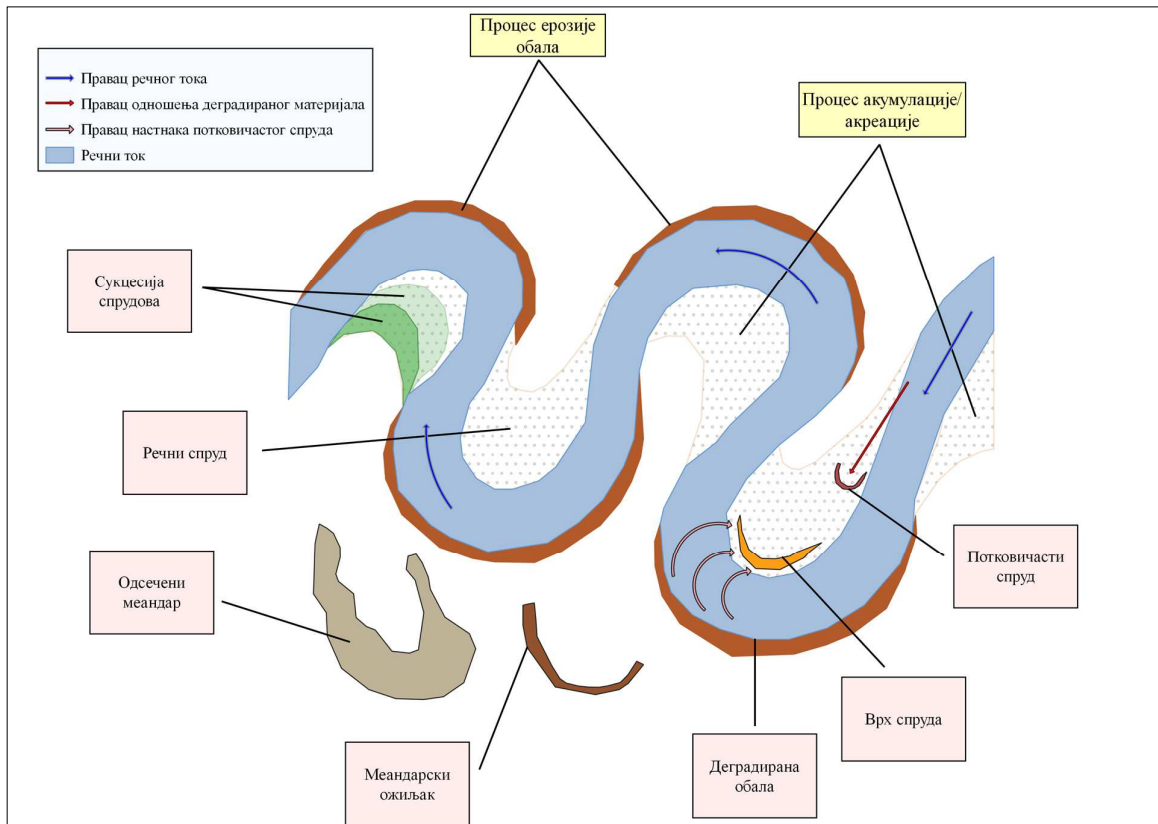
су контролни фактори морфометрије токова, као и зависне/независне променљиве чије би се вредности могле временом променити. У тренутку када су речна корита и обалски појас измењени под утицајем природних или антропогених фактора, односно када је створена зона дисбаланса (због одређених дистурбација у сливу) (Morrissey et al., 2009), како би постигла ранију равнотежу река се прилагођава променама у димензији, профилима и траси речног тока. Поменута адаптација се постиже процесима ерозије конкавних обала и симултано акумулацијом еродираних материјала на конвексним обалама. Смена ова два процеса дешава се читавом дужином алувијалног или низијског дела речног тока. У горњем делу тока, у близини изворишног места, река се усеца у тврдој подлози (основи) у циљу достизања базног нивоа, па примарно врши процес дубинске ерозије, док се еродирани материјал под утицајем гравитације креће наниже. На тај начин врши се формирање стрме долине. У средњем делу тока река наставља да се пробија, али такође почиње да врши ерозију и у бочном правцу. У моменту када река досегне доњи део тока и близу је ушћа она је готово достигла базни ниво, па је највећи део ерозивног потенцијала или ерозивне енергије концентрисан на бочна усецања (Hohensinner et al., 2018; Langston & Tucker, 2018).

Крећући се из узводнијих сектора вода се усмерава према спољном делу меандра где ударајући о обалу врши њену ерозију (Сл. 1). Процеси ерозије обала најјаче дејство имају код слабије кохезивних обала. У првом ступњу река својом снагом поткопава обале у својој бази у доњем делу. Нагиб обале постаје све израженији, обала се урања у ток реке, што условљава пад њене стабилности. У другој фази наступа повлачење обале које се дешава масовним откидањем врха обале (Nardi et al., 2012; Shu et al., 2012). Како водени ток према унутрашњости меандра носи одређену количину еродираних наноса, пренос је успорен због силе трења. Ово узрокује таложње материјала на унутрашњој обали и доводи до формирања спрудова у виду акумулација седимената (Сл. 1) (Ahmed & Fawzi, 2011). Еволуцију меандрирајућих сектора реке, у најширем смислу, карактеришу три основна процеса: континуирано издуживање речне осе, са једноструким или сложеним режњевима, низводна миграција врхова меандра и појава одсечених делова (Camporeale et al., 2013). Важно је нагласити да се процес латералне миграције не одвија истим интензитетом дуж целе дужине тока, што доводи до појаве индивидуалности у развоју појединачних меандарских кривина.

Према томе, ерозија обала представља увек постојећи и свеprisутан природни процес. Чак и код река које карактерише релативна статичност и стабилност обалског појаса, могу се регистровати минимална латерална померања и таложње материјала током дужег временског интервала (Das et al., 2014), уколико њихови обалски појасеви нису модификовани и стабилизирани регулационим и антропогеним радовима.

Осим латералног померања речног тока и процеса ерозије обала, у примарне механизме којим река мења свој положај и тип речне трасе издвајају се природно пресецање меандара, формације спрудних острва и/или процес авулзије. Свакако и интензитети поменутих процеса су непосредно изложени дејству бочне ерозије. Пресецање меандара у вези је са померањем кривине меандра, док је процес авулзије резултат премештања постојећег речног корита на место новог. Природни пресеци се могу јавити на простору меандарске кривине и могу се класификовати у просецање врата меандра (енг. *neck cut-offs*) и одсецање жлеба (енг. *chute cut-offs*). Вратни просеци настају урушавањем уског размака између суседних обала речног корита, док је жлебно усецање проузроковано померањем постојећег корита преко алувијалне равни (Li & Gao, 2019). Вратна одсецања настају када реке имају високе нивое синусоидности, а веома мали нагиб; док жлебни одсеци настају када је поплавно подручје слабо покривено вегетацијом и када су седименти еродибилни и некохезивни (Gupta, 2012). Авулзија представља природни процес којим се река премешта са једног на други положај, обично током периода интензивних протицаја и преусмерава се са садашњег положаја речног корита на нови положај у суседној поплавној равници. Трајање процеса авулзије може варирати од кратког временског периода (након једног хидролошког екстрема) до дужих временских интервала. У зависности од услова терена, оне могу бити потпуне или делимичне где је у

првом случају матично речно корито напуштено низводно од тачке раздвајања, а у другом сценарију ново речно корито коегзистира са старим (Gunalp et al., 2011). Авулзија обично наступа када вода пробије природни или вештачки насип и када се речни нанос таложи на плавном подручју. На ком месту ће се јавити авулзија зависи од фактора попут геометрије речног тока, стабилности обале, топографије алувијалне равни и хидролошких утицаја (Ghosh & Mukhopadhyay, 2021). Иако поменути процеси нису у фокусу спроведеног истраживања њихова појава на одабраном речном току је постојана посматрајући 100-годишњу еволуцију.



Сл. 1. Основни појмови у вези са процесом латералне миграције речног тока и назначени флувијални облици настали њеним дејством

1.4. Основни облици флувијалног рељефа

Током дејства процеса латералног померања речног тока, ерозије обала и акумулације обалског материјала, формирају се различити облици флувијалног рељефа попут деградираних обала, спрудова, одсечених меандара, меандарских ожиљака, старача, мртваја, итд (Сл. 1). Идентификација и разликовање индивидуалних флувијалних облика током теренских истраживања је од посебне важности за успостављање ширег знања о морфолошким и развојним карактеристикама речног тока. Основни продукт процеса ерозије обала представља стварање деградиране обале (Сл. 1). Реч је о врло динамичном елементу чије се димензије константно мењају у зависности од интензитета напредовања процеса. У литератури је прецизирано неколико типова деградираних обала заснованих на теренским истраживањима обалског материјала, висине, нагиба и другим карактеристикама. Деградиране обале могу бити обрасле и различитим типовима вегетације, што утиче на њихову стабилност, а регулационим радовима могу бити механичким путем учвршћене, што је најчешћи метод превенције даљег деградрања.

На рекама које се одликују процесом активне и интензивне акумулације, површине новог, „јувенилног“ и „осетљивог“ земљишта формирају се на конвексним странама или између

бројних речних рукаваца. У првом случају на унутрашњим странама меандрирајућих река могу се формирати три типа спрудова или акумулација седимената које је река претходно еродирала, у зависности од њиховог тачног положаја: *scroll bars* (главни спрудови), *chute bars* (потковичасти спрудови) и *tail bars* (репни спрудови) (Strick, 2016). Главни спрудови (енг. *scroll bars*) формирају се дуж криволинијске ивице конвексне стране меандра где процес акреације доживљава максимум током високих вода. Одликују се постојањем истакнутог врха спруда (Сл. 1). Током нижих водостаја они су откривени изнад нивоа воде, а њихов положај је паралелан са самим речним током. Њихов настанак проузрокован је процесом ерозије обала који се дешава на спољним странама меандара (Lageweg et al., 2014; Babić-Mladenović, 2018). „Потковичасти спрудови“ (енг. *chute bars*) карактеристика су меандрирајућих и разубњених речних токова. Облика су потковице и формирају се на најнизводнијем сектору унутрашње кривине меандра (Сл. 1). „Репни спрудови“ (енг. *tail bars*) се генерално формирају као резултат опструкције од стране полеглих крошњи или стабала дрвећа. Формирају се најчешће код меандрирајућих и разубњених река (Strick, 2016). На основу доминантности одређеног типа спруда, његовог положаја и протицаја реке могуће је класификовати реке на четири категорије: имобилисани токови без спрудова, меандрирајуће реке са доминантним главним спрудовима, меандрирајуће реке са појавом потковичастих и репних спрудова и разубњене реке са свим групама (Gupta, 2012). Посебан тип речних токова представљају они са појавом спрудова у средишњем делу речног корита, што је установљено и на простору истраживачких сектора Јужне Мораве. Реч је о спрудовима који се карактеришу слабом стабилношћу што имплицира да се непрекидно појављују и нестају. Таложење речног наноса у средишњем делу речног корита доводи до пораста висине његовог дна што условљава фрагментацију на два речна рукаваца. Поменуте околности могу даље још више интензивирати процес ерозије обала на конкавној страни реке утичући на повећање нагнутости под којом се вода креће (удар таласа под специфичним углом у обалу и њено деградације). Еродирани материјал река преноси до наредног места погодног за акумулацију чиме се циклус наставља. Генерално, стабилност спрудова се повећава уз сукцесију вегетационог покривача (Сл. 1) (Das et al., 2014).

Осим различитих типова спрудних акумулација, препознатљиви облици рељефа карактеристични за токове са интензивним латералним померањем и токове низијских терена су и одсечени меандри и мртваје (Сл. 1) (Ondruch et al., 2018). Иако је процес настанка одсечених меандара добро документован и објашњен кроз издвајање раније поменута два типа пресецања, у научним круговима дата су различита објашњења о узроцима који до њиховог настанка доводе - од тога да настају због нехомогености обалског материјала, до тога да настају услед интензивних екстремних вредности протицаја који изазивају морфолошке промене (Нооке, 2004). Механизам формирања одсечених меандара и мртваја препознат је и међу географским истраживачима (Wigse, 1984; Нооке, 1987) још од друге половине 20. века. Већина аутора објашњава посебну учесталост појаве одсечених меандара због промена у вредностима протицаја, док су многе од ових промена директне последице људских активности. Нооке (2004) је представила неколико теорија о формирању одсечених меандара које се могу применити на различитим примерима река у свету: хипотеза о самоорганизујућем систему, хипотеза о природној еволуцији меандра, хипотеза о утицају екстремних вредности протицаја и хипотеза о доминантним антропогеним утицајима. Први концепт подразумева да је меандар део самоорганизујућег система. Меандар еволуира до максималне синусоидности, чији је лимит ограничен постављеном ширином алувијалне равни, и једном када је достигнута синусоидност, она или опада или осцилира током времена. Стадијум у којем је достигнута максимална синусоидност назива се стадијум критичности или хаоса и такво стање подразумева формирање одсечених меандара као дела једног нелинеарног динамичног система. Друга хипотеза подразумева да се промене тока могу објаснити миграцијом и еволуцијом меандара у циљу постизања динамичке равнотеже, без обавезног постизања хаотичног стања. Бројна литература из области флувијалне геоморфологије (Ondruch et al., 2018; Guo et al., 2019) истиче ефекат екстремних хидролошких догађаја на морфологију речних

корита и утицај на формирање одсечених меандара (трећи концепт). Базична теорија флувијалне геоморфологије подразумева да је морфологија корита привикнута на протицај и режим речног наноса и да у случају промена поменуте две варијабле долази до прилагођавања положаја речног корита (Hooke, 2004). Током 1960-их година прошлог века антропогени узроци настанка одсечених меандара су издвојени као најзначајнији. Последња теорија подразумева утицај регулационих радова који су урађени узводно од места појаве одсеченог меандра или директно на самом меандру. У неким сегментима савремене литературе сагледана је и хипотеза о утицају климатских промена и варијација климатских услова на морфодинамику речног тока и настанак различитих флувијалних облика (Guo et al., 2019).

1.5. Типови речне трасе и ерозија обала

У циљу одржавања стања динамичке равнотеже, претходно објашњене законитости показале су да речни ток мора прилагођавати своје морфолошке карактеристике како би био достигнут баланс у транспорту воде и речног наноса. Латералним померањем, ерозијом обала и акумулацијом материјала река детерминише своју речну трасу. Дефинисана речна траса или патерн (енг. *River channel patterns*) представља важан фактор приликом истраживања морфодинамике речних токова, те стога захтева посебно објашњење и разумевање. Речна траса представља геометријски облик алувијалних речних токова приказан у хоризонталном плану (Babić-Mladenović, 2018). Организована је кроз спрегу речних рукаваца, алувијалне равни, спрудова и вегетације, а контролисана је просторним померањем тока и транспортом речног наноса. Ширина и траса реке детерминисана је балансом између флувијалних формација и деструкција (Kleinhans, 2010) па из тог разлога постоје њени различити типови (Gupta, 2012). Због свега наведеног закључује се да је одређени тип речне трасе са својим морфометријским и морфолошким одликама препознат као важан дијагностички алат у процени еволуције флувијалних облика рељефа. Значај познавања и квантификовања речне трасе огледа се и у пружању адекватних информација о историјском аспекту и морфолошком развоју реке. Још од времена Виљема Мориса Дејвиса, географи су користили речну трасу као основни параметар приликом проучавања динамике флувијалног рељефа и будућих перспектива развоја. У његовим радовима можемо пронаћи базу за проучавање процеса латералног померања речног корита и еволуцију речног тока у „циклусу ерозија-акумулација“ (Simon et al., 2016). За потребе сагледавања процеса ерозије обала са различитих картографских или ортофото снимака од изузетног значаја је познавање изгледа и типа речне трасе, јер се тиме врши спознаја неких од основних параметара попут дужине и ширине меандара, појаве разуђених и напуштених речних рукаваца, правац меандрирања, итд. (Thorne, 2002; Brown et al., 2014; Simon, et al 2016; Buffington & Montgomery, 2019).

Познавање и разумевање промена у морфолошким карактеристикама меандара значајно је у погледу проучавања природне динамике флувијалних система, за потребе планирања, конзервације и обнављања обалског појаса, као и за проучавање динамике хидролошких и климатских показатеља (Candel et al., 2021). Крајњи циљ представља могућност формирања предиктивног модела кретања речног тока у односу на одређену временску динамику. У научним радовима и монографијама (Leopold & Wolman, 1957; Schumm, 1963; Nanson & Knighton, 1996; Makaske, 2001; Kleinhans, 2010; Gupta, 2012; Das, 2012; Radoane et al., 2013; Das et al., 2014; Candel et al., 2021) предложено је неколико различитих класификација типова речних траса, у зависности од постављене методологије истраживања. Просторно-геоморфолошка класификација типова речних траса је од посебне важности, јер доприноси бољем разумевању релација између процеса, облика и стабилности. Генерално, све предложене типологије основ имају у једној од првих категоризација типова речних траса коју су извршили амерички географ и геолог Гордон Волман и грађевински инжењер и геоморфолог Луна Леополд (Leopold & Wolman, 1957), у низу истраживања из области флувијалне геоморфологије средином прошлог века. Предложени типологију засновали су на

параметру синусоидности речног тока и том приликом су издвојили четири основне групе: праве, синусоидне, меандрирајуће и разуђене типове речних траса.

Schumm (1963) је у оквиру свог истраживања издвојио три основна типа речних траса узимајући у обзир карактеристике речне морфологије и протока воде. Аутор наглашава да се предложена класификација може применити само локално на одређене сегменте речног тока, али не и на целу реку. Од овог правила изузети су само кратки планински токови (до 1 km дужине). На основу стабилности речних обала (који зависи од баланса између протицаја и транспорта речног наноса) издвојио је стабилне, деградирајуће и депоновајуће типове речних траса. Тип речног наноса који се транспортује (вучени или суспендовани) представља веома важан фактор који детерминише издвајање поменутих категорија. Заговорници сличне класификације били су и Nanson & Knighton (1996).

Велики број аутора (Kleinhans, 2010; Gupta, 2012; Das, 2012; Radoane et al., 2013; Das et al., 2014) прихватио је општу поделу типова речне трасе на четири категорије. Битно је истаћи да категорије нису стриктне и да се одређени делови тока не могу са сигурношћу класификовати под једну од поменутих категорија. Генерално, прву групу чине прави речни токови (енг. *Straight*) који су готово непостојећи у природи. Ипак, могуће је диференцирати релативно праве секторе одређених речних токова. У раније поменутом истраживању су Leopold & Wolman (1957) указали да праве речне трасе могу имати или екстремно кратки сегменти речних токова или токови затворени у уској речној долини. Правoliniјска деоница речног тока се може формирати и антропогеним путем извођењем регулационих радова. Прави речни токови се одликују релативно униформисаним ширинама речног корита, са смањеним проносом наноса и малим нагибом. Обале су стабилне, а индекс синусоидности варира у опсегу од 1 до 1,05 (Radoane et al., 2013) (Сл. 2А).

Другу категорију чине меандрирајући речни токови који су настали под утицајем латералног померања речног корита. Код меандрирајућих река довољно је да само једна нит показује синусоидни образац. Поједини аутори (Radoane et al., 2013) у оквиру ове категорије разликују два подтипа речних токова:

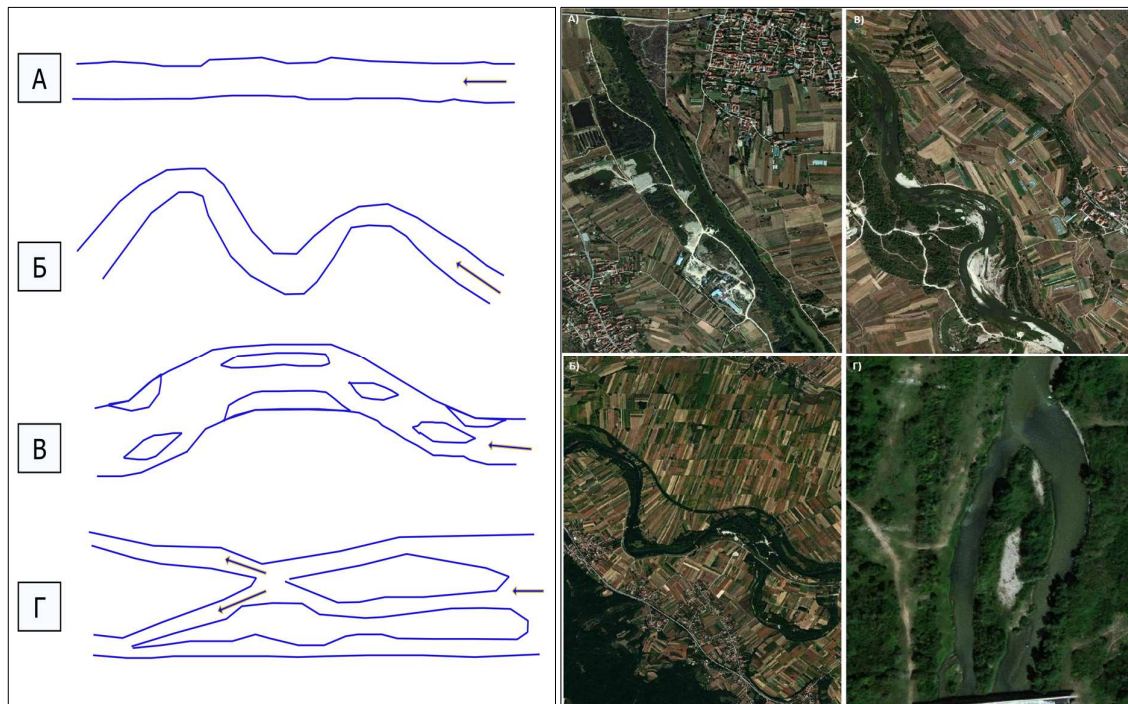
- синусоидни (енг. *Sinusoidal*) са вредношћу индекса синусоидности од 1,05 до 1,5. Карактеришу се комбинованим транспортом наноса који се акумулирају у виду мањих спрудова позиционираних на конвексним обалама супротно од меандра реке;
- меандрирајући (енг. *Meandering*) обухвата групу вијугавих токова са индексом синусоидности већим од 1,5. Формирање и изглед оваквог типа речног тока условљен је постојањем високе синусоидности, за разлику од првог типа који је стабилнији због већег садржаја вучених седимената у вредности сумарног проноса речног наноса (Radoane et al., 2013; Buffington & Montgomery, 2019). Управо је овај тип речне трасе предмет истраживања ове дисертације, јер су за њих карактеристичне појаве интензивног процеса ерозије обала (Сл. 2Б)

Разуђени сектори (енг. *Braided*) или деонице речног тока које се састоје из мреже рукаваца раздвојених малим и често привременим песковитим острвима и спрудовима чине трећу категорију (Сл. 2В). Они су формирани најчешће на рекама које одликују велики падови и велики интензитет транспорта речног наноса што изазива засипање корита и формирање спрудова. Реке овог типа имају значајно вучно седиментно оптерећење. Разуђени рукавци уоквирују спрудове ромбоидног облика и у одређеним случајевима могу довести и до процеса авулзије (Hiatt et al., 2019).

Последњу групу представљају анастомозирајући речни токови (енг. *Anastomosing*) (Сл. 2Г). Они имају сличности са претходно поменути типом, с тим што се првобитно раздвојени речни рукавци поново могу ујединити. Њихова основна карактеристика је да се састоје од рукаваца подељених острвима која су покривена вегетацијом и од кохезивних обала (Radoane et al., 2013). Анастомозирајући речни сектори су бочно неактивни за разлику од

меандрирајућих и разуђених сектора. Они су резултат процеса авулзије (Gupta, 2012). Њихове обале се карактеришу стабилношћу, одсуством ситних и нестабилних спрудова у речном кориту и дуж обала. Ипак, у односу на друге типове показују нешто више вредности индекса синусоидности. Одређени аутори (Makaske, 2001) истичу да је овај тип речне трасе заправо шири појам и да он може укључити појаву све три претходне категорије.

Поједини стручњаци (Gupta, 2012; Medel et al., 2020; Angulo & Lee, 2022) издвајају и специфичне прелазне типове или подтипове речних траса. Уопштено, због формализма и критеријума саме класификације на основне типове, често је тешко применљива код великих река равничарских предела. Из тог разлога се најчешће издвајају два прелазна типа - анабранш и лутајући сектори реке. Анабраншинг (енг. *Anabranching*) речне трасе карактеришу вишеструки речни рукавци који се одликују малом брзином воде и транспортом речног наноса, па су већина њених рукаваца окарактерисани као равни или слабо вијугави (Medel et al., 2020). У својој студији Jansen & Nanson (2010) су донели закључак да већину највећих река у свету карактерише управо поменути образац као доминантан тип речне трасе. Рукавац се одваја од главног тока и након неколико километра тока поново се спаја са основним током (Angulo & Lee, 2022). Овакав тип речне трасе остаје јединствен и компактан и по тој карактеристици се разликује од објашњеног анастомозирајућег речног тока чија се траса грана на више рукаваца који се затим поново спајају (Allaby, 2008).



Сл. 2. Основни типови речне трасе: (А) прави - *straight*, (Б) меандрирајући - *meandering, sinusoidal*, (В) разуђени - *braided*, (Г) анастомозирајући - *Anastomosing*) на примеру Јужне Мораве

Друга прелазна категорија река, према изгледу речне трасе, представљена је речним токовима са лутајућим секторима (енг. *Wandering*). Одликује се постојањем великог броја речних рукаваца који се крећу кроз алувијалну раван без неке одређене правилности, односно „лутају“. Количина речног наноса који се транспортује речним коритом је типично висока и углавном обухвата песак, шљунак и дробину. Осим тога, ширина речног тока је знатно виша у односу на дубину (Li et al., 2020).

1.6. Допринос и значај дефинисане проблематике за научна истраживања и практичну примену

Након објашњеног процеса ерозије обала и латералног померања речног тока и њихове функције у процесу формирања и трансформације флувијалног рељефа низијских терена, значај његовог проучавања се може проценити као изразит. Свеобухватност фактора који делују на исти и последица које њихово дејство оставља, било кроз деградацију постојећих или стварања нових флувијалних облика, још више доприноси претходно изнетој претпоставци. Утврђивање интензитета и квантификовање процеса ерозије обала и латералног померања речног тока, пре свега важно је за детерминисање генезе и еволуције просторно-временске динамике меандара током референтних временских интервала, али и за могућност формирања предиктивног модела кретања у односу на одређену временску динамику. Ово је од посебне важности за правилну намену коришћења земљишта, односно израду просторно-планске документације. Добијени резултати омогућавају и компарацију са варијабилношћу вредности основних параметара који их условљавају. Међутим, сагледавање последица које овај процес има на природне и антропогене системе одређеног простора је од посебне важности, јер условљава губитак земљишта, економске губитке у пољопривредној производњи, опасност по инфраструктурне и водопривредне објекте, итд.

Заступљеност проучаване проблематике у међународној научној литератури је изразита у последњих неколико деценија, иако је тематика релативно касно препозната у академским круговима у односу на друге типове природних процеса и непогода. Томе је посебно допринела чињеница великог распрострањена на светском нивоу, али и појачане интеракције у систему човек (антропогене делатности) – природа (природни процеси). Сваке године преко милион људи је директно погођено процесом ерозије обала (Das et al., 2014). Стога се међу најзначајнијим разлозима који објашњавају интерес у проучавањима поменутог процеса издвајају следећи:

- процес се манифестује кроз просторно-временску динамику што утиче на постојање константног мониторинга, посебно на примерима великих речних токова;
- процес заузима важну улогу у контроли морфометријских карактеристика речног тока, са посебним нагласком на ширину, дубину и извијуганост; директним изменама вредности поменутих карактеристика, ерозија обала индиректно утиче и на измене других физичко-географских одлика терена (нпр. хидролошке, климатолошке, морфолошке, итд.);
- процес се налази у међусобно узајамном узрочно-последичном односу са хидролошким карактеристикама одређеног тока, те се на основу познатих вредности интензитета процеса могу донети бројни закључци о водности простора и обрнуто;
- процес утиче на умањење значајних земљишних ресурса и уништавање земљишта обалног појаса, што касније може имати интензивне економске последице.

Због поменутих, али и многих других аспеката који ће бити обрађени кроз дисертацију, проблематика проучаваног процеса привукла је значајан интерес научне заједнице (посебно због своје важности у сектору управљања водама и земљиштем, односно ширег значаја за становништво и насеља) (Visconti et al., 2010). Значај проучавања тематике у научним круговима долази до изражаја у неколико различитих сфера: унапређивање и осавремењивање методологије за детерминисање интензитета латералне миграције и блиских показатеља, детаљно истраживање узрока појаве уз довођење у везу са другим природним и антропогеним појавама, и последице које овај процес оставља по околни простор.

Практични значај проучавања и квантификовања процеса огледа се у домену неколико различитих контекста. Пре свега последице процеса ерозије обала су сталне, постојане и због глобалне дисперзије и интеракције са социјалним активностима свеприсутне. Тематика латералног померања обала од посебног је значаја са географског (физичко-географског, друштвено-географског, регионално-географског и аспекта локалне средине), економског,

еколошког, инжењерског, социјалног, демографског и психолошког аспекта. Географски значај испитиване проблематике заснива се на постојању једне од основних карактеристика самог процеса – просторно-временској динамици. Свака просторна измена има утицаја на површину Земље, те представља потенцијалну проблематику једног географског истраживања. С обзиром да промене положаја обала условљавају измене и других услова природне средине (измене хидролошких параметара, промене микроклиматских услова на простору алувијалних равни, измене хемијских карактеристика речне воде, утицај на водене организме) више се наглашава значај сагледавања проблематике са географског становишта.

Еколошки аспект значаја процеса ерозије обала заснива се на могућностима праћења и предвиђања промена вегетационог покривача и нестајање станишта одређених биљних и животињских врста. С обзиром на то да се на унутрашњој страни меандра акумулацијом еродираних материјала формира ново „младо земљиште“ стварају се услови за проширење екосистема обалске и ритске вегетације, што је веома важно за еколошки аспект. Под истим се подразумева и промена хемијских карактеристика речне воде, засипање речног корита и услед тога изливање водотокова, итд. Са друге стране, економски аспект се често истиче као посебно битан. Познавање вредности интензитета ерозије обала и њен правац служи као основна база за спречавање бројних економских последица на најважнију привредну грану алувијалних равни – пољопривреду (Dragicevic et al., 2017b). Анализа ерозије обала у пољопривредним регионима је важна у погледу процена хазарда и евалуације опција за санацију деградираних обала (Prosdocimi et al., 2015).

Демографски аспект укључује утицај који процес ерозије обала има на размештај становништва и миграције. Оваква тематика је посебно разрађена на територији алувијалних равни великих река јужне и југоисточне Азије, иако су такве последице свакодневница и код река на другим континентима за које не постоје конкретни подаци. Велика концентрација становништва дуж речних токова утиче на повећање степена њихове угрожености, али и оштећење или потпуно уништење инфраструктурних објеката. Исто тако, могуће је и на територији Србије сагледати социјално-демографски аспект значаја процеса ерозије обала кроз одређене примере на секторима Јужне Мораве. Самим тим антропопресија и притисци антропогених активности на алувијалне равни и обале река, као најосетљивије делове слива, присутне су у великом обиму. У савременом периоду процес ерозије обала и његове последице доводе се у везу и са психолошким ефектима и менталним обољењима људи концентрисаних у латерално активним областима (Hossain et al., 2021). Политички аспект познавања интензитета процеса ерозије обала огледа се у томе што често речни токови представљају границе између две територијалне јединице – државе, регионалне или локалне јединице. Због латералног померања обала, дешава се да одређене државе добијају ново земљиште сваке године, док их друге губе. То може довести до стварања проблема различите градацијске важности – од тога да се локално становништво сусреће са економским последицама (губитком парцеле која се након акумулације материјала налази у другој држави), до потенцијалних политичких сукоба (посебно код великих и значајних речних токова).

Из свега наведеног следи да разумевање механизма интензитета ерозије обала и миграције речног тока у бочном правцу, има фундаменталан значај због могућности практичне примене у сфери управљања водним и земљишним ресурсима, конзервације земљишта, просторног планирања, хидротехнике и заштите животне средине.

2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

Прва фаза израде докторске дисертације и студије на тему просторно-временске динамике процеса ерозије обала и латералне миграције речног тока подразумева сагледавање научне и стручне литературе уско повезане са третираном проблематиком. У складу са тим, извршено је кратко представљање историјата и развита научно-стручног истраживања процеса ерозије обала, кроз анализу представљених и коришћених метода, добијених резултата и закључака. Посебан акценат стављен је на просторну компоненту, те су у корелацији са тим издвојени најрепрезентативнији радови према одређеним географским целинама. Важан обрађени сегмент укључио је и анализу примене утврђених законитости и података у практичном раду. Поглавље је конципирано кроз три мање целине: преглед досадашњих истраживања у свету, преглед досадашњих истраживања у региону и преглед досадашњих истраживања на простору Србије.

2.1. Преглед досадашњих истраживања у свету

Савремена научна истраживања ерозије обала и латералне миграције речних токова започета су током 1970-их и 1980-их година прошлог века студијама дугорочних промена положаја речних обала насталих под утицајем варијације вредности протицаја. Већина студија у овом периоду бавила се истраживањима географских, геоморфолошких и геолошких проблема наведених процеса. Тематика просторно-временске варијабилности процеса латералног померања речног тока била је у фокусу, што је омогућило укљученост многих географских стручњака и истраживача приликом њеног тумачења. Акценат је био и на квантитативним истраживањима мањих речних токова или појединачних меандара река и на краћим временским периодима. Посебно су анализирани принципи и закони физике којима се настанак, развој и морфодинамика меандарских кривина манифестују под утицајем промене природних фактора (Hickin, 1974; Hooke, 1979; Thorne, 1981; Brice, 1984; Nanson & Hickin, 1986). Међу истраживачима који су нарочито допринели развоју проучаване тематике може се издвојити Thorne (1981) који је детаљније објаснио могућности коришћења различитих група метода приликом проучавања процеса латералног померања речних токова. Поред тога, битно је споменути и студију Nanson & Hickin (1986) у оквиру које су аутори вршили истраживање интензитета латералне миграције 18 река у западном делу Канаде користећи хидролошке показатеље као улазне податке. Аутори су дошли до закључка да се 45% варијација у положају речних обала може објаснити променама вредности протицаја, који се издваја и као најважнији фактор у модификацији процеса ерозије обала.

Почев од 1990-их година, а нарочито на почетку 21. века, интересовања истраживача за наведену проблематику нагло су порасла, о чему сведочи и велики број објављених научних радова (Bull, 1997; Lawler et al., 1997; Piegay et al., 1999a; Green et al., 1999). Rinaldi & Darby (2008) су извршили анализу 194 научна рада, објављених у периоду 1959-2007. године, у вези са проблемом ерозије обала, и утврдили да у другој половини посматраног периода доминирају теме који се баве значајним утицајем хидролошких фактора и фактора вегетације и њиховој улози у интензивирању и/или контроли процеса ерозије обала. Сагледавање утицаја антропогених регулационих радова на промене интензитета процеса латералног померања речног тока посебно је постала актуелна тема од последње деценије 20. века. Са почетком новог миленијума, а нарочито током друге деценије 21. века проучавање процеса ерозије обала издваја се као битан сегмент географских, геолошких и инжењерских истраживања. У првом делу посматраног периода доминирају радови научника са простора Европе и Северне Америке, док је касније све више стручњака који поменути процес обрађују на примеру речних токова јужног и југоисточног дела Азије и северног дела Африке. У европским оквирима истраживани процес је проучен на бројним примерима речних токова низијских предела или алувијалних сектора великих европских река (Teruggi et al., 2005; Hooke, 2008; Luppi et al., 2008; Hooke & Yorke, 2010; Ondruch & Mačka, 2015; Prosdocimi et al., 2015; Foucher et al., 2016).

Резултати истраживања ових радова указују на значај повећаног интензитета ерозије обала, са посебним нагласком на климатске варијабилности које су директно утицале на повећање екстремних вредности протицаја са једне стране, као и на антропогене и регулационе промене на току и дуж обалског појаса са друге стране.

Прва систематска истраживања процеса ерозије обала са географског аспекта започета су у Великој Британији (Hooke, 2004; Gurnell et al., 2006; Hooke, 2008; Hooke & Yorke, 2010). Проучавајући однос између хидролошких фактора и интензитета латералне миграције тока реке Дејн у Чешки (СЗ Енглеска), Hooke (2008) је утврдила да су екстремне хидролошке прилике и фреквантан транспорт речног наноса главна карактеристика речних сектора са доминантном појавом деградираних обала. Неколико година раније ауторка је истраживала формирање одсечених меандра на примеру реке Болин у Великој Британији, кроз које је представила неколико хипотеза о њиховом настанку (Hooke, 2004). Hooke & Yorke (2010) су проучавали врсте и промене у морфологији речних меандара и везе између фактора и морфолошких промена. Своју студију су базирали на примени метода даљинске детекције, али и постојећих картографских приказа, у циљу утврђивања морфолошких промена реке Дејн у СЗ Енглеској, током периода од 25 година. Већина меандара прати идентификовани аутогени развој, од кривина малих синусоидности, преко једноставних симетричних и асиметричних меандара, до сложених облика са развојем режња у пределу врха. Крајњи циљ истраживања био је да се поставе у однос процес развитка меандра и процес ерозије обала. Релације између фактора вегетационог покривача и стопе ерозије обала проучаване су у студији Gurnell и сар. (2006) на примеру реке Коле у Западном Мидлендсу у Енглеској.

Teruggi и сар. (2005) су у својој студији применили више различитих метода за проучавање процеса ерозије обала на примеру реке Чечине у Италији у циљу провере њихове тачности, употребне вредности и утврђивања предности и мана њиховог коришћења. Lurpi и сар. (2008) су такође проучавали процес ерозије обала исте реке у периоду од једне године (2003-2004.) како би свеобухватно објаснили факторе који утичу на поменути процес. Посебно су нагласили утицај хидролошких фактора, односно седам поплавиних таласа који су евидентирани у обрађеном периоду, и у складу са тим применили моделе како би одредили конкретни утицај сваке од поплава на интензитет померања обала. Значај утицаја антропогенних творевина и становништва на динамику интензитета процеса ерозије обала препознат је као главни истраживачки проблем у студији Prosdocimi и сар. (2015). На примеру алувијалне равнице Венето у Италији указано је на трендове трансформације стабилних деоница обалског појаса у нестабилне. Коришћењем картографског материјала и терестичког ласерског скенирања, као адекватних и референтних методологија за анализу процеса ерозије обала, утврдили су интензитет латералне миграције и губитак земљишта.

Foucher и сар. (2016) су у развијеном пољопривредном региону Француске, сливу језера Лоурокс, истраживали интензитет ерозије обала током зимског периода године (2012-2013). Коришћењем метода ерозивних пинова (258) регистровани су просечни интензитет ерозије обала од 17,7 cm у посматраном периоду са посебним нагласком на ниже делове обале на којима су сви ерозивни пинови показали интензивније активности. Ondruch & Маџка (2015) су на примеру обалског појаса дела тока реке Мораве у Чешкој препознали драматичан пораст интензитета ерозије обала (2,19 m/god) у периоду 1938-1953. године и нешто нижу вредност од (1,47 m/god) у наредном периоду (1953-1963). Утврђене промене вредности довеле су у корелацију са интензивним регулационим радовима у истом периоду на истраживаној реци. Даљи резултати су указали да се тек након 25 година вредности интензитета ерозије обала стабилизују и доводе на стање пре речних регулација (0,35-1,09 m/god). Касније су истраживања процеса ерозије обала за исту реку допуњена од стране аутора Ondruch и сар. (2018) који су истраживали динамику трасе речног тока након извршеног процеса природног просецања меандара. Радну хипотезу, да ће просецање меандара довести до промена интензитета ерозије обала, потврдили су даљим праћењем динамике тока реке Мораве. Утврдили су да је у првим годинама након извршеног просецања меандра интензитет ерозије

спољне обале износио 6,21 m, што је вишеструко више у односу на стање пре поменутог пресека.

Veihe и сар. (2010) проучавали су интензитет ерозије обала на примеру малог тока реке Харестед у Данској и утврдили распон вредности од 17 до 30 mm годишње. Као основни метод утврђивања интензитета ерозије обала користили су ерозивне пинове, а дужина осматрања износила је четири године. Посебан нагласак су ставили на измене хемијског састава воде низводно од места ерозивних обала, на шта је указао пораст честица седимената и елемента фосфора који се транспортују и таложе реком, а настале процесом ерозије обала. Посебно интересантна тематика у домену истраживања утицаја на процес ерозије обала обрадили су Augustowski & Kukulak (2021) током једне хидролошке године (2013/2014) на примеру неколико река у области Подгале у Пољској. Утврдили су да је током зимске половине године (новембар-април) повлачење обале било углавном изазвано процесима повезаним са смрзавањем и крављењем земљишта, док су током летњег периода године (мај-октобар) доминанти били флувијални процеси, односно латерална ерозија. Осим тога, нагласили су да је удео флувијалног процеса у укупном повлачењу обале (просечно 71 cm) био чак четири пута већи у односу на појаву замрзавања/крављења. Установили су и да је ерозија обала у хладнијем делу године углавном захватала горње слојеве обале (земљишни материјал), док је флувијална ерозија у топлијем делу захватала ниже делове, подривајући обалу и рушећи је.

Континуитет истраживања проучаваног процеса на почетку 21. века успостављен је и кроз примере бројних токова на територији Северне Америке (Carroll et al., 2004; Richard et al., 2005; Morrissey et al., 2009; Dave & Mittelstet, 2017; Moghddam & Rennie, 2018; Bernier et al., 2021). Carroll и сар. (2004) су сагледавали утицај екстремних поплавних таласа на ерозију обала и депоновање еродираних материјала на примеру реке Карсон у Невади (САД) применом хидродинамичког модела. Потврдили су да се ерозија обала одликује вишим вредностима током већих протицаја при испуњеном речном кориту. Као један од релевантних доказа поменутој тврдњи је и повећање ширине речног корита. Показали су да је само једна већа поплава одговорна за скоро 87% укупне еродиране масе у периоду 1991-1997. године. Richard и сар. (2005) су проучавали корелацију између латералне миграције и протицаја реке Рио Гранде на сектору Новог Мексика. Утврдили су да интензитет померања опада са опадајућим трендовима протицаја. Установљена вредност коефицијента корелације износила је 0,5 што указује на умерену условљеност ерозије обала од вредности протицаја, односно наглашава утицај и других фактора, посебно антропогених. Значајна је и проблематика истраживања аутора Morrissey и сар. (2009) који су на примеру 15 малих речних сливова на територији савезне државе Вермонт спровели теренско и кабинетско утврђивање количине речног наноса наталоженог на спрудовима, а који су депоновани са деградираних обала узводније.

Dave & Mittelstet (2017) испитивали су утицај антропогених творевина и регулационих радова на стабилност обале реке Кедар у Небраски. Прерачунали су исплативост конструкције одређене регулационе грађевине према односу улагање-смањење економских губитака изазваних процесом ерозије обала. Упоредили су различите типове грађевина и кроз истраживање утврдили највећу отпорност на високе протицаје потпорних зидова као вида регулационе грађевине. Moghddam & Rennie (2018) су истраживали хидроморфодинамику два сегмента тока који пролази кроз регион Отаве у Канади. На основу компарације положаја тока у периоду 2004-2014. године, посредством ортофото снимака и теренских истраживања, утврдили су годишње померање обала које је износило у просеку 0,2 m. Bernier и сар. (2021) су истраживали процес ерозије обала реке Свети Лоренс (Квебек, Канада) на основу картографског материјала и историјских извора, уз допуну даљинске детекције и локалног знања. Детерминисали су да је 50% дужине обала истраживаног сектора у природном стању, док је на половини извршен одређен тип регулационих радова, најчешће утврђивање обале. Резултати спроведеног истраживања указали су на појачан интензитет ерозије обала на најнизовнијим меандрима посматрајући их у односу на изграђену обалоутврду.

У научној литератури у другој деценији 21. века посебно су истакнути радови о интензитету ерозије обала и њеним последицама на примерима великих река јужног дела Азије (Laskar & Phukon, 2012; Das, 2012; Aktar, 2013; Ghimire et al., 2013; Das et al., 2014; Rahman et al., 2016; Debnath et al., 2017; Rahman & Gain, 2020; Verma et al., 2021; Ghosh & Mukhopadhyay, 2021; Aslam et al., 2021; Haque et al., 2022; Mamun et al., 2022). У овом делу света због антропопресије и великог обостраног утицаја на релацији човек-обала-ерозија оваква тематика посебно добија на значају. Laskar & Phukon (2012) су проучавали миграцију тока реке Барак у Асаму у периоду од 85 година (1918-2003) на основу положаја обала добијених са сателитских снимака. Квантитативна анализа коју су спровели указала је на повећан растући тренд процеса ерозије и акумулације, с тим да је нешто израженији процес депоновања седимената у истраживаном периоду. Исти речни ток проучавао је и Das (2012) концентришући се на меандрирајуће секторе реке. Коришћењем даљинске детекције и ГИС технологије уочио је опадајући тренд у вредности индекса синусоидности, док је вредност латералне миграције износила у просеку од 62 до 132 m.

Aktar (2013) је на сличан начин проучавала историјске трендове процеса ерозије обала реке Јамуне у Бангладешу. У примењеној методологији поставила је однос промене у ширини речног корита са једне и стопе ерозије обала са друге стране. Након тога извршила је утврђивање односа дужине леве и десне обале према вредности ерозије обала. Да су хидролошки фактори најбитнији узрочници процеса ерозије обала, указују добијене вредности доведене су у везу са варијацијама протицаја. Ауторка је утврдила да је лева страна подложнија утицају поплавних таласа, те да ће повећање за око 10% вредности максималних годишњих протицаја резултирати повећањем од 13% интензитета ерозије обала десне обале и чак 26% леве обале реке Јамуне. На примеру исте реке, Haque и сар. (2022) су сагледавали последице процеса ерозије обала кроз вредности укупних и просечних губитака земљишта. Утврдили су да је у периоду 1972-2013. године укупно изгубљено 3.356 ha земљишта док је на суседним обалама укупно депоновано 5.342 ha седиментног материјала. Као последица интензивног процеса ерозије обала лутајући сектори речне трасе постали су доминантнији. Rahman и сар. (2016) су кроз истраживање о интензитету померања обале реке Падме у Бангладешу нагласили значај коришћења даљинске детекције и различитих метода обраде картографских материјала и снимака из прошлости. Река Падма окупирала је пажњу географа и инжењера који се баве овом тематиком због велике деструктивне моћи (интензитета ерозије) којом се одликује. Укупно латерално померање реке у периоду 1860-1925. године у горњем делу тока износило је готово 2 km. Исти сектори су се у периоду 1963-2009. године латерално померали за чак 12 km. Годишњи максимум померања износио је 1,2 km (у периоду 1995-1996. године).

Како би се на свеобухватан начин сагледали утицај геолошких и вегетацијских фактора на ерозију обала, Ghimire и сар. (2013) су на примеру реке Качури (Непал) проучавали интензитет процеса и том приликом извршили класификацију обала на основу кохезивности материјала у њима и њене покривености одређеном вегетацијом. Интензитет померања израчунат је коришћењем метода ерозивних пинова (0,03-0,25 m годишње), док је најинтензивније померање забележено код голих обала, односно оних без вегетационог покривача. На значај примене моделовања у истраживању процеса ерозије обала указали су Ashraf & Shakir (2018) истраживајући обале реке Ченаб у Пакистану. Коришћењем Landsat фотографија и ГИС-а одређен је интензитет процеса ерозије обала, а затим је понашање истог процењено за будући период коришћењем посебних нумеричких модела. Утврђен је степен детерминације од 0,82 што указује на то да је предикциони модел веома користан. Сличан модел су користили и Verma и сар. (2021) приликом проучавања нестабилног сектора реке Ганг на територији Индије и одлике латералне миграције у периоду 1975-2020. године и тиме су дали неколико сценарија будуће морфодинамике реке. Прогресивна промена положаја обалских линија и линије талвега као последица процеса ерозије обала осматране су и на примеру реке Дваркесвар у западном Бенгалу током 100-годишњег периода. Уочено је четири типа промена:

промене у типу речне трасе због процеса латералне миграције, регистрован процес авулзије као последица промена вредности протицаја (током једног поплавног таласа средином истраживаног периода), промена положаја линије талвега због формација спрудова (за 1,71 km) и проширивање речног тока због ерозије обала. Посебно су наглашени пораст индекса синусоидности, односно пад индекса разуђености у истом периоду (Ghosh & Mukhopadhyay, 2021).

Одређени број раније наведених радова (Rahman et al., 2016; Debnath, 2017; Hossain et al., 2021) третира економске, демографске и еколошке последице процеса ерозије обала на простору Јужне Азије. Das и сар. (2014) су указали на негативне последице процеса по становништво и људске активности кроз бројне примере у свету. Rahman и сар. (2016) истакли су деструктивне последице процеса ерозије обала реке Падме (Бангладеш) наводећи пример четири насеља која су у потпуности нестала у прошлом веку и још четири која су изразито угрожена. На основу обраде сателитских снимака утврђено је да реке уништавају око 6.700 ha пољопривредног земљишта годишње у Бангладешу, а готово 800.000 људи је директно погођено овим процесом. Угроженост инфраструктурних објеката и насеља оправдана високим интензитетом латералног померања речног тока истраживана је и на примеру реке Коваји у Индији, анализом 23 изабрана речна сегмента (Debnath et al., 2017). Да су људска насеља умногоме угрожена интензивном процесом ерозије обала, доказују и најактуелније теме у домену истраживања последица поменутог процеса, попут студије коју су спровели Hossain и сар. (2021). Они су коришћењем техника истраживања у друштвеним наукама, попут интервјуа и анкете, на узорку од 611 домаћинстава истраживали психолошке последице по становништво из крајева угрожених процесом ерозије обала. Резултати су указали на повећање менталних обољења, депресије и различитих врста фобија код контингента испитаника који су искусили неки од ефеката који поменути процес има на људске насеобине.

Колико је процес ерозије обала карактеристичан и за речне системе аридних предела указује истраживање Ahmed & Fawzi (2011) који су за предмет проучавања имали интензитет меандрирања и ерозије обала реке Нил у Египту и његов утицај на животну средину. Студија је заснована на коришћењу Landsat снимака из периода 1987-2000. године и теренских истраживања. Резултати су указали на постојање просторно-временских промена положаја обала реке, као и на нестанак и настанак острва по дужини целог тока. Интензивна латерална ерозија довела је до губитка пољопривредних површина што је имало великих последица на пољопривредну производњу и економско стање. Поменуте последице посебно долазе до изражаја у аридним пределима са високом густином насељености становништва, као што је долина реке Нил. Li и сар. (2017) су применом картографских метода и метода даљинске детекције проучавали вредности латералне миграције и појаве одсечених меандара у аридним деловима Кине (река Тарим). Том приликом су утврдили промене морфометријских карактеристика меандарских кривина, док је интензитет латералне миграције износио од 1,4 до 97 m/god у периоду 2000-2014. година. У истом периоду формирано је 45 природним путем одсечених меандара што је представљало значајан услов за имену локалних физичко-географских услова средине.

Будући да су сливови великих кинеских река (посебно Жуте реке) веома подложни процесима латералног померања и ерозије обала, не изненађује чињеница да су бројни речни токови у фокусу истраживања стручњака различитих научних дисциплина (Yang et al., 2007; Liu & Gao, 2019; Li et al., 2020; Guo et al., 2021; Li et al., 2021). Са тим у вези, Li и сар. (2020) су као просторни оквир истраживања у свом раду користили сектор средњег тока реке Хоангхо који се одликује рапидним и сигнификантним интензитетом латералне миграције. Спроведена студија укључила је просторне и временске варијације протицаја при испуњеном речном кориту, као једног од најзначајнијих фактора који утиче на интензитет процеса ерозије обала. Резултати су указали на повећану латералну миграцију од 4.296 m у периоду 1986-2009. године.

Liu & Gao (2020) у свом истраживању напомињу значај пресецања меандара као суштинског процеса промене морфодинамике тока и интензитета ерозије обала. Како би доказали поменути утицај извршили су „вештачко пресецање“ једног репрезентативног меандара ископавањем јарка, на типично меандрирајућој Црној реци, притоци Хоангхоа. Аутори су, посматрајући морфодинамичко понашање геометријских карактеристика тока у периоду од пет година након пресецања меандра, дошли до резултата који указују да је управо толико времена било потребно како би одсечени део ушао у фазу старости. Достицање поменуте фазе значило је и готово заустављање процеса ерозије обала, на шта су указали и добијени подаци. Иста река била је у фокусу истраживања и Guo и сар. (2021), заједно са другом познатом притоком реке Хоангхо, Белом реком. Циљ рада је био спровођење анализе промена морфолошких и морфометријских карактеристика оба тока. Аутори су идентификовали 290 меандарских кривина на којима је заступљен екстензивни развој меандра. Указали су на то да су речне миграционе трасе обликоване комбинацијом процеса екстензије¹ и транслације² са већом просечном вредности интензитета миграције код оних меандара који су обликовани процесом транслације.

Једна од значајних река северног дела Кине, Јонхдинг била је предмет истраживања аутора Li и сар. (2021) који су проучавали њену динамику у периоду од 55 година (1964-2018). Установили су значајне промене у морфодинамици речног тока који је постао шири за 31%. Посебно су нагласили средишњу временску фазу 1980-2004. године када је ток проширен за 23%, односно по стопи већој од 1 m/year. Сагледали су и евентуалне факторе који су довели до претходно поменутих резултата и утврдили најзначајнији контролни утицај људских интервенција на току и у сливу. Антропогени утицају се издвајају и као главни узрок појачаног интензитета ерозије на реци Јангценгјанг (Yang et al., 2007). Након изградње бране Три Клисуре долазило је до задржавања 2/3 речног наноса пред саму брану, што је у низводнијим секторима условило доминантност процеса ерозије у односу на недостатак акумулације. Таква појава карактеристична је и неколико стотина километара низводно од бране. Утврдили су да је појачан интензитет процеса ерозије директна последица испуштања „неседиментисане“ воде која је правила јачи удар и притисак на спољне обале меандара реке Јангценгјанг.

Дугорочне варијације у морфолошким карактеристикама реке Теодри у Јапану представљене су у студији Naï и сар. (2019) у оквиру 58-годишњег периода истраживања. Испитивање је спроведено на основу доступности картографске грађе, а добијени резултати су указали на важан утицај багеровања шљунка и песка и конструкције бране на промене морфолошких карактеристика тока реке Теодри. Rosli и сар. (2021) су сагледали значај ерозије обала као важног и веома екстензивног геоморфолошког и хидролошког процеса на рекама Југоисточне Азије. На примеру реке Пусу у Малезији, покушали су да квантификују интензитет процеса ерозије коришћењем методе ерозивних пинова. На два одабрана сектора реке поставили су 21 ерозивни пин, док је период мерења трајао од фебруара 2019. до априла 2019. године. Резултати су показали вредност просечне стопе ерозије од 0,05 cm/year до 0,51 cm/year у зависности од сектора. На крају су посебно акцентовали значај фактора екстремних протицаја и вегетационог покривача.

Ерозија обала препозната је као важан природни процес на примеру речних токова Аустралије (Green et al., 1999; Rutherford et al., 2007; Zhang & Rutherford, 2020). Green и сар. (1999) су користећи различите групе метода израчунали интензитет ерозије обала реке Моки у Аустралији. Посебно су нагласили удео процеса ерозије у билансу наноса који се таложи дуж конвексних обала. Најпознатију реку Аустралије (Мари) у домену ерозије обала истраживали су Rutherford и сар. (2007). Они су у свом квалитативном истраживању сектора реке низводно

¹ Екстензија – једна од трасе динамике меандра која подразумева латерално померање врха меандра, односно његово продуживање.

² Транслагација – једна од трасе динамике меандра која подразумева бочно померање страна низводно, без неопходног продуживања.

од бране Хум, истражили процес ерозије обала. Исту реку су истраживали и Zhang & Rutherford (2020) обављајући директно теренско испитивање процеса ерозије обала. У периоду 2015-2017. године пратили су тренд напредовања процеса и утврдили веома значајан утицај обалске вегетације и оборених стабала врста из рода еукалиптус.

У осталим светским регионима забележен је мањи број радова на ову тему. Ипак могуће је издвојити неколико интересантних географских студија у вези са процесом ерозије обала и латералним померањем речног тока. Yan и сар. (2021) су пратили динамику вредности одређених морфометријских карактеристика меандара реке Окаванго у Африци са циљем објашњавања интензитета процеса латералног померања и ерозије обала. Речни ток Окаванго диференциран је на три сегмента на основу вредности индекса ерозије и акумулације, а као крајњи допринос студије предложен је нумерички модел у циљу предвиђања даље динамике реке. Angulo & Lee (2022) су проучавали промене речне трасе у горњем делу тока реке Амазон на територији Перуа. Посебно су истраживали утицај сезонске промене протицаја на интензитет процеса латералног померања и ниво трансформације речне трасе. Квантитативном анализом су потврдили повећане стопе депоновања материјала у односу на процес ерозије обала. Такође, указују да је депоновање материјала било присутно током целог истраживаног периода (2008-2013), док је процес ерозије био везан за појаву једне поплаве 2012. године.

С обзиром на извршен преглед савремене литературе из области ерозије обала, њених узрока и последица, може се закључити да истраживана проблематика у последње две деценије добија на својој актуелности, значајности и практичности. Ипак, и даље су видљиви регионални диспаратети у погледу покривености речних токова за које су дати подаци о интензитету процеса. Будућност проучавања овог процеса биће заснована на утврђивању прецизног мониторинга, адекватног моделовања и правилног управљања процесом. Под мониторингом се подразумева даље укључивање свих адекватних извора (историјских карата и ортофото снимака) приликом реконструкције положаја обала у ранијим етапама, укључивање утицаја различитих природних и друштвених фактора, као и коришћење директних мерних инструмената за одређивање рецентног стања процеса. У овом сегменту се посебно огледа допринос географских стручњака. Моделовање укључује креирање симулација и модела интродуковањем различитих варијабли који имају најзначајнији утицај (Bolinaga & Fox, 2018). У том пољу су последњих година постигнути велики помаци да одређени модели могу да симулирају латерално померање меандара, ерозију и акумулацију. Управљање се даље развија у смеру контроле и спречавања процеса ерозије обала. Поред три поменута елемента, за потребе изучавања процеса ерозије обала и други фактори могу бити важни за будућа истраживања пре свега, квантификовање утицаја вегетације, боље разумевање физичког механизма процеса ерозије обала, успостављање стандардизоване процедуре за одређивање интензитета процеса, хемијске карактеристике воде и њихов утицај на ерозију обала, итд.

2.2. Преглед досадашњих истраживања у региону

Будући да је процес ерозије обала и латералног померања речних токова карактеристичан за простор Панонске низије, њеног јужног обода и Влашко-пантијску низију, бројни истраживачи из региона су се у својим истраживањима бавили овом тематиком. Последице процеса ерозије обала у региону документована су у радовима бројних аутора (Kiss et al., 2008; Blanka & Kiss, 2011; Radoane et al., 2013; Тошић et al., 2014; Nadudvari & Czajka, 2014; Rosca et al., 2015; Lovric & Tomic, 2016; Grecu et al., 2016; Babić et al., 2017; Bertalan et al., 2018; Kiss et al., 2019; Bertalan et al., 2019; Vaculisteanu et al., 2019). У првом реду могу се издвојити и сагледати резултати истраживања спроведених на територији Румуније. Radoane и сар. (2013), који су за студију случаја имали неколико различитих токова на територији Румуније, објаснили су методолошки приступ проучавања еволуције и динамике речних токова. За потребе будућних истраживања формирали су вид „катастра“ речних токова који се одликују

великим интензитетом латералне миграције. Rosca и сар. (2015) су проучавали однос климатско-хидролошке варијабилности и ерозије обала реке Нирај у Румунији. Проценили су да се степен ерозије обала повећава са трендом пораста максималних вредности протицаја и пораста њихове учесталости појављивања. Grecu и сар. (2016) истраживали су значај поплавних и бујичних таласа на рекама у различитим регионима Румуније за процес морфодинамике речних корита. У ту сврху су квантификовали индексе синусоидности и разуђености чије су вредности довели у корелациони однос са фреквенцијом појаве поплава и бујица. Vaculisteanu и сар. (2019) су у студији истраживања утицаја природних непогода на рурална насеља Румуније посебно нагласили утицај ерозије обала која након клизишта (63%) и поплава (26%) највише утиче на живот становништва (11%).

На примерима река у Мађарској, поједини истраживачи су указали да су регулациони и антропогени радови на токовима од велике важности за динамику процеса ерозије обала. Тако су Kiss и сар. (2008) утврдили важност регулационих радова на смањење степена синусоидности реке Тисе у Мађарској за 35%. Аутори су истакли да је као директна последица регулација река продубила речно корито за 3,8 m у периоду од средине 19. века до 1930-их година што је условило бољу поводљивост поплавног таласа и заштите алувијалне равни од поплава. Након тог периода, иако су урађени регулациони радови како би се смањио утицај латералног померања речног тока, река је наставила да шири своје меандре. До сличних резултата су дошли и Nadudvari & Czajka (2014) утврдивши да су регулациони радови утицали на пад у просечној ширини речног тока Тисе. Супротно од поменутог рада, Kiss и сар. (2019) су проучавали утицај природне динамике речног тока Тисе на изграђене насипе. Утврдили су да је око 65% речног тока обухваћено ерозијом обала, док су насипи смањили њено дејство само привремено. У свом истраживању су такође закључили да је око 58% обалоутврда већ оштећено тим процесом.

Утицај антропогених радова (изградња насипа, просека и других регулационих грађевина) на измене флувијалног рељефа проучаван је и на доњем делу тока реке Драве (Kiss et al., 2011). Као последице поменутих регулација речни ток Драве трансформисан је из меандрирајућег у разуђени тип, број речних острва је дуплиран, док је површина коју обухватају повећана са 51 на 174 ha. Подацима о интензитету ерозије обала покривена је и река Хенрад у Мађарској. Коришћењем метода теренских истраживања и даљинске детекције утврђена је позитивна корелација између фреквенције појаве екстремних хидролошких прилика и интензивног процеса ерозије обала (март 2008 – август 2009. године) (Blanka & Kiss, 2011). Bertalan и сар. (2018) су на примеру меандра реке Сајо у Мађарској покушали да прикажу два аспекта проучавања процеса ерозије обала - као деградациони процес и као шанса за стварање и очување нових природних површина. Резултати су указали на пораст компактности неких вегетационих покривача попут ритске жбунасте и шумске вегетације, иако диверзитет врста није повећан. Такође, деградирани обале постале су еколошки значајне за неколико врста орнитофауне, што означава процес формирања нових станишта. На истој реци проучаване су и просторно-временске варијације у динамици природних меандара у истраживању Bertalan и сар. (2019). Анализиран је 124 km дуг сектор у оквиру осам краћих временских секвенци у распону од 1952. до 2011. године. Сагледане су основне морфометријске карактеристике меандара, израчунати интензитети ерозије обала и евалуирана серија хидролошких података у циљу довођења у корелациони однос са вредностима које квантификују процес. Добијени резултати су указали на тренд повећања индекса синусоидности дуж читавог истраживаног сектора, смањења ширине и њено просторно груписање. Исто тако, скренута је пажња и на чињеницу да је утицај хидролошких фактора опао у другој половини истраживаног сектора због све јачег утицаја антропогених активности у сливу реке Сајо.

На територији Босне и Херцеговине процес ерозије обала истраживан је на примеру реке Босне (Тошић et al., 2014; Lovrić & Tosić, 2016). Упоредивши податке из различитих временских периода (2001., 2006., 2008. и 2013. година), утврђена је еволуција тока реке Босне и положај њених обала током различитих временских серија. На обрађеном сектору укупна деградирани

површина износила је 2,87 km², док је укупна површина акреације износила 2,68 km². Аутори су посебно нагласили велике економске последице које процес ерозије обала има на околно земљиште – у истом временском периоду укупно је изгубљено 42,3 ha пољопривредног земљишта, 171,9 ha шума и 31,8 ha пашњака и ливада (Тошић et al., 2014). Коришћењем старије картографске грађе и документације претходно истраживање проширено је на дужи временски период (1958-2013.) како би се стекла шира слика морфолошких промена речног тока Босне (Lovric & Tosić, 2016). У поменутом периоду идентификована је укупна површина захваћена процесом ерозије од 83.430 km², док је укупна акреациона површина износила чак 107.074 km². Посебно значајан податак је да је максимални интензитет латералне миграције у истом периоду износи 132 m (или 2,5 m годишње). На крају рада наглашена је важност климатско-хидролошке варијабилности запажене у сливу реке Босне, која је окарактерисана као најважнији узрочник повећаног интензитета процеса ерозије обала.

Вабич и сар. (2017) су приликом проучавања процеса латералног померања реке Дунав (у граничном појасу Хрватске и Србије) истакли значај геодетских метода. Постојање историјских карата и планова тока Дунава од средине 18. века омогућило је праћење његове морфодинамике у дугим временским серијама. Ипак, као адекватнији извор података у истраживању су коришћени планови из 1833. године, при чему је, узимајући у обзир период од 150 година, утврђена просечна годишња стопа померања обала од 2 m/god. Употребом система за терестичко и мобилно ласерско снимање аутори су извршили мониторинг деградираних обала Дунава и тиме потврдили важност вегетационог покривача у одржавању стабилности и конзистентности обала. Микош и сар. (2016) су указали и на постојање процеса ерозије обала на реци Сави, на сектору тока кроз Словенију. Посебно су издвојили годину 1923. када су велике поплаве интензивирале ерозију обала реке Саве (тада су многа насеља била угрожена од стране деградације обала). Указали су и на трансформацију основних узрока процеса ерозије обала од природних ка антропогеним након извршених бројних регулационих радова у другој половини 20. века.

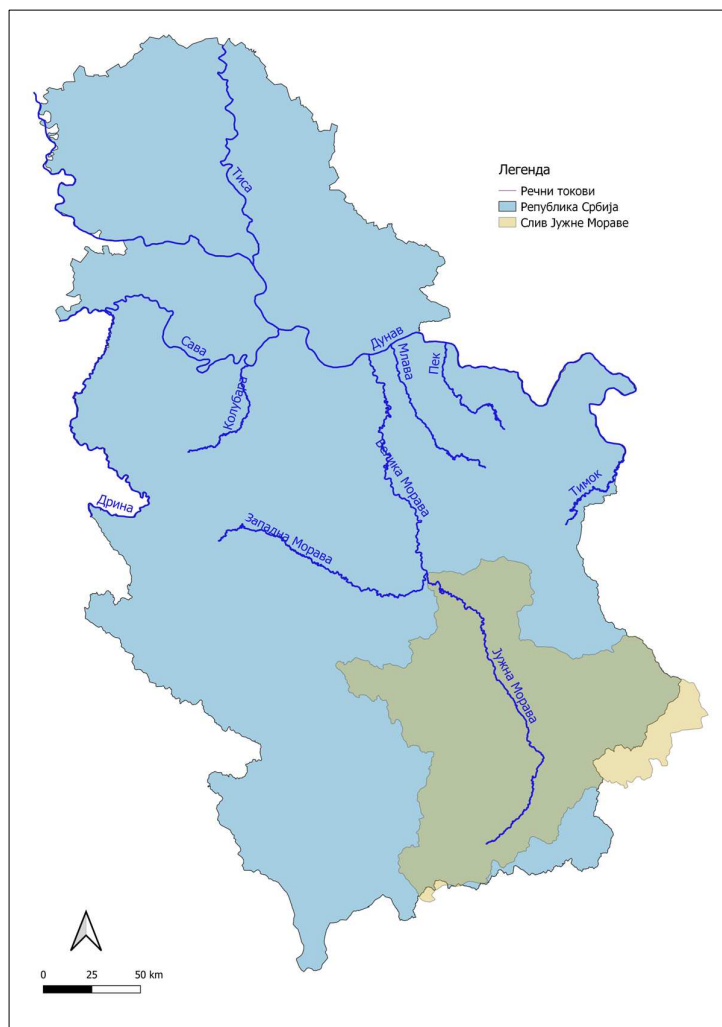
2.3. Преглед досадашњих истраживања у Србији

Процес ерозије обала у оквирима територије Републике Србије један је од најинтензивнијих природних геоморфолошких процеса. Прва интензивнија квантитативна истраживања ерозије обала у Републици Србији реализована су тек крајем прве деценије 21. века. Данас се ипак могу издвојити одређене студије које проучавају поменути процес, његове узроке и последице са различитих аспекта на појединим речним токовима (Petković, 1995; Roksandic et al., 2011; Dragicevic et al., 2012; Dragičević et al., 2013; Schwarz, 2016; Dragičević et al., 2017a; Dragicevic et al., 2017b; Langović, 2020; Langović et al., 2021; Dragičević et al., 2022). Реч је о истраживањима у којима су проучавања процеса ерозије обала углавном заснована на примеру једног или више речних токова, при чему је важно нагласити да још увек не постоји израђен катастар деградираних обала и угрожених делова тока од стране ерозије обала за целу државу.

С обзиром на постојеће тектонске, геолошке и физичко-географске карактеристике каквим се одликује простор Републике Србије, може се констатовати да је територија добрим делом предиспонирана за постојање процеса латералног померања река, а самим тим и ерозије обала и акумулације еродираних материјала. Са аспекта проучавања ерозије обала посебно су интересантни највећи речни токови у Србији: Дунав, Сава, Тиса, Велика Морава, Јужна Морава, Западна Морава, Дрина, Тимок, Млава, Пек, Колубара, итд. (Сл. 3), односно токови који целом својом дужином или делом теку кроз низијске, алувијалне просторе Панонске низије, њеног јужног обода или Влашко-пантијске низије. Поред поменутих река, процес ерозије обала евидентан је и у доњим деловима токова њихових најзначајнијих притока, иако није научно и практично истражен и документован.

У неколико научних радова на широким скалама обрађени су најосновнији елементи процеса ерозије обала за поменуте речне токове у дужим временском секвенцама. Dragičević и сар.

(2022) су одредили интензитет померања обала највећих река у Србији и издвојили секторе који су посебно угрожени поменути процесима. Наиме, дефинисани временски период у датом истраживању износио је 96 година (1923-2019), а у зависности од доступности података за сваку реку израчунат је максимални и просечни интензитет латералног померања. Осим тога, извршено је графичко представљање леве и десне обале у различитим временским пресецима, најрепрезентативнијих меандара за сваки обрађени речни ток. Резултати су показали на постојање интензивног померања обала на свим посматраним рекама, а посебно на онима код којих је временски низ био најдужи – нпр. Велика Морава – 6,3 m/годишње, Јужна Морава – 4,5 m/годишње, Западна Морава – 3,4 m/годишње. Због димензија и водности других анализираних река, као и доступних података очекиване су вредности ниже у односу на прве три реке – 2,8 m/god (Колубара), 1,6 m/god (Млава), 2,5 m/god (Пек) и 3,8 m/god (Тимок). Река која је издвојена као типична алувијална река са најинтензивнијим процесом латералног померања тока је Дрина, са вредношћу просечног максималног интензитета латералног померања од 12 m/god, за период (1975-2019).



Сл. 3. Карактеристичне реке Србије које су у целости или делимично обухваћене истраживањима процеса ерозије обала и латералне миграције

Langović и сар. (2021) су у другом истраживању исто тако обухватили најзначајније токове алувијалних предела у Србији. Том приликом анализиран је укупан губитак земљишта дуж карактеристичних сектора под утицајем процеса ерозије обала. Детерминацијом просторне и временске варијабилности речних обала у различитим временским оквирима, у зависности од доступних података, аутори су створили основу за квантификовање укупног и просечног

губитка земљишта. Резултати истраживања показали су да процењена вредност губитка земљишта износи око 2.561 ha (25,6 km²). Добијене вредности пропорционалне су морфометријским и хидролошким карактеристикама речних токова. Дефинисани временски оквир за три највеће реке обухваћене истраживањем (Велика, Јужна и Западна Морава) био је око 100 година у току којих су забележене следеће вредности укупних губитака: Велика Морава – 950,3 ha, Јужна Морава 611,1 ha, Западна Морава – 547,2 ha. Због неједнаког трајања временских периода, значајнији показатељ био је просечан губитак земљишта (ha/god). Доказано је да је просечно годишње највише земљишта изгубљено дуж обала Велике Мораве (9,79 ha/god), затим Јужне и Западне Мораве (6 ha/god), док су за остале истраживане токове вредности биле ниже (од око 3 ha/god дуж реке Тимок, до 1,22 ha/god дуж реке Млаве). Аутори су такође приказали по пет најрепрезентативнијих меандара за које су квантификовани годишњи и просечни губитак земљишта (губитак на свих пет меандара износио око 383 ha на Великој Морави, 154,5 ha на Јужној Морави, 119,3 ha на Западној Морави). На крају су посебно нагласили динамику померања меандара и губитак земљишта током последње деценије истраживаног периода (2010-2020.), и извршили корелисање са просечном вредношћу протицаја у датом периоду.

Осим поменутих студија, потребно је представити и резултате истраживања других радова који проблематику ерозије обала и латералног померања речног тока третирају на примерима појединачних река у Србији. Langović (2020) је истраживао процес латералног померања обала издвајајући специфичне секторе тока Јужне Мораве карактеристичне по просторно-временској морфодинамици. Коришћењем доступних картографских материјала, њиховом обрадом и спроведеном методологијом израчунавања максималног интензитета латералне миграције у периоду 1924-2019. године, добијени су темељни подаци за даље проучавање узрока и последица поменутог процеса. У разматрање је узето седам меандара у оквиру три проучавана сектора, а резултати су показали постојање високих вредности латералног померања одабраног тока – вредности просечне годишње латералне миграције за читав период кретале су се у распону од 1,4 до 5,3 m/god у зависности од испитиваног меандра. Посебно је наглашена динамика процеса у последњој деценији истражног периода о чему говори добијени податак да је у периоду 2013-2019. године просечно годишње померање износило чак 5,7 m/god на једном од меандара. У истом раду анализирани су и основни узроци који су довели до тако интензивне миграције речних обала Јужне Мораве. Појава максималних вредности протицаја посебно је наглашена и доведена у корелациони однос са добијеним стопама померања тока. Под покровитељством Института за водопривреду „Јарослав Черни“ издата је публикација под називом „Генерални пројекат са претходном студијом оправданости уређења Јужне Мораве од Грделице до састава са Западном Моравом“ у којој су поред осталог сагледани проблеми латералне ерозије средњег и доњег тока Јужне Мораве (Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi, 2005). Квантификовани су одређени параметри процеса, извршен попис деградираних обала и дате њихове карактеристике. Постојање овакве студије од изузетне је важности за сврсисходније разумевање тока Јужне Мораве и процеса које их одликују. Деценију раније Petković (1995) је кроз своју монографију проучавао слив Јужне Мораве у контексту ерозивних процеса. Међу њима је посебан акценат дат процесу ерозије обала, кроз детектовање најинтересантнијих деоница трасе речног тока у том домену и њиховом детаљном анализом.

Dragičević и сар. (2017a) су детерминисали интензитет ерозије обала и губитак земљишта дуж низводног дела реке Колубаре, коришћењем картографских подлога (катастарске и топографске карте), ГИС-а, даљинске детекције и теренских истраживања у периоду 1930-2016. године. Утврдили су вредност просечног годишњег интензитета латералног померања од 1,9 m/god, са посебним нагласком на последњи период (2010-2016) када је просечни интензитет миграције износио 3,3 m/god. Осим тога, аутори су на шест најкарактеристичнијих меандара утврдили укупни губитак земљишта од 9,5 ha. Један од најзначајнијих фактора који је утицао на еволуцију речних канала је фреквенција појаве високих вредности протицаја при

потпуно испуњеном кориту, као и магнитуда појаве поплавних таласа. Теренским истраживањем посебно је третирана 2014. година када су регистроване екстремне вредности хидролошких параметара у сливу Колубаре. Иста река била је предмет проучавања и у истраживању Dragičević и сар. (2017b) чији је циљ била анализа економских ефеката процеса ерозије обала. Ефекти су израчунати уз помоћ коришћења података о укупном губитку земљишта и редукацији количине пољопривредне производње. У периоду 1967-2010. године, укупан губитак земљишта износио је 67,3 ha (око 59% њиве). Применом одређених економских емпиријских формула, заснованих на доступним подацима у вези са пољопривредном производњом, добијена је вредност укупних губитака у производњи која је износила 634.240 USD за истраживани период. У истој студији сагледани су и могућности умањења поменутих ефеката у случају потенцијалне изградње одређених регулационих грађевина којима би се смањио или зауставио процес интензивне ерозије обала.

Важно је напоменути и рад аутора Dragičević и сар. (2013) који су проучавали свеобухватне последице процеса ерозије обала на делу територија Републике Србије и Босне и Херцеговине (Републике Српске). Као студије случаја одабране су четири реке - Колубара, Дрина, Босна и део тока реке Дунав дуж границе са Републиком Хрватском. Латерална миграција изазвала је значајне проблеме кроз губитак земљишта (40 ha) и промене у начину коришћења земљишта, што је условило и значајне економске губитке. На основу добијених резултата студије Dragičević и сар. (2012) утврђена су просечна померања тока реке Колубаре за четири посматрана периода: 1925-1951 - 1,41 m, 1951-1967 - 2,05 m, 1967-1981 - 4,1 m, 1981-2010 - 1 m. Просечно годишње померање обала реке Босне у периоду 1958-2010. године износило је чак 156 m, док је вредност максималног померања износила 506 m. Губитак земљишта дуж тока реке Колубаре обрађен је и у студији Roksandić и сар. (2011) у склопу које су проучавали последице ерозије обала реке на територији општине Обреновац. Резултати истраживања су указали на укупни губитак земљишта од 67,3 ha у периоду од 43 године (1967-2010), што је имало сигнификантне последице по економски и пољопривредни развој општине.

Роров и сар. (2008) проучавали су еволутивне карактеристике развоја меандара речног тока Тисе на простору Србије, вршећи палео реконструкције некадашњих меандара. Утврдили су постојање неколико фосилних меандара из касног плеистоцена и раног холоцена. Schwarz (2016) наводи да је интензитет ерозије обала реке Саве релативно низак, као последица нешто спорије трансформације речног тока и развоја меандара. О томе говори податак о вредности максималне миграције тока Саве од 80 m за период 1973-2006. године (просечна максимално померање износило је 3 m/year). У истој студији наведено је и постојање у потпуности лутајуће трасе тока реке Дрине као најзначајније притоке Саве у Србији. Исти аутор наводи и податак да Дрина годишње уноси у Саву између 0,5 и 1 милион m³ речног наноса од којег је највећа количина доспела због појачаног ефекта ерозије обала и латералног померања тока Дрине.

3. ПРОСТОРНИ ОКВИР ИСТРАЖИВАЊА

С обзиром на раније указан значај коришћења географског метода и просторне перцепције, у овом сегменту биће одређен просторни оквир истраживања флувијалног процеса. Иако се у фокусу истраживања налази један сегмент представљен речним током Јужне Мораве или њеним секторима интересантним са аспекта процеса ерозије обала, за комплетну и прецизну концепцију истраживања важно је сагледати целовиту слику простора и увидети најзначајније географске појаве и процесе. Према томе, иницијално ће се сагледати шири контекст у циљу неопходне анализе основних карактеристика слива Јужне Мораве укључујући физичко-географске карактеристике, историјат антиерозивних радова у сливу, историјат регулационих радова на току Јужне Мораве. Након тога ће се извршити тачно дефинисање сектора (деоница) тока Јужне Мораве и њихово јасно диференцирање. У склопу обраде јединица у вези са сливом Јужне Мораве посебно ће бити наглашен простор доњег и средњег тока где су лоцирани референти сектори одабрани за реализовано истраживање.

3.1. Основне физичко-географске карактеристике слива Јужне Мораве

Речни слив, као основна хидролошко-водопривредна јединица проучавања, и његове основне физичко-географске карактеристике сагледане су у циљу што јаснијег дефинисања фактора који детерминишу интензитет ерозије обала. У ту сврху, у склопу појединачних поглавља, извршен је преглед основних геолошких, геотектонских, рељефних, климатских, хидролошких и биогеографских карактеристика слива Јужне Мораве кроз анализу и представљање појмова важних за истраживани процес. Посебно су наглашене основне физичко-географске карактеристике истраживачких сектора у којима је регистрован процес ерозије обала. Фактори чије показатеље одликују рецентне квантитативно-квалитативне варијације вредности накнадно су сагледани кроз детаљнија објашњења фактора доказаног и проученог интензитета процеса ерозије обала и латералног померања тока.

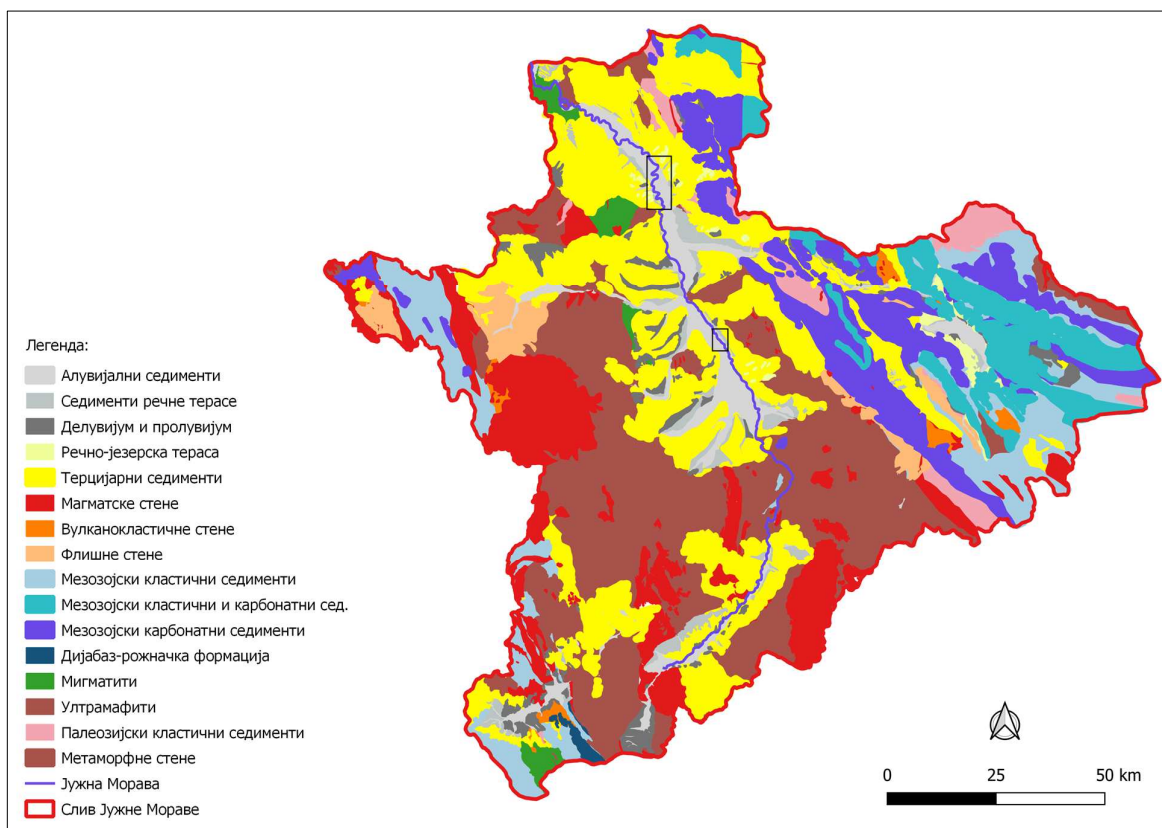
3.1.1. Геолошке карактеристике слива Јужне Мораве

Рецентна речна морфодинамика заједно са процесима ерозије обала и акумулације еродираних материјала, као и формирањем бројних флувијалних облика рељефа, представља стандардни и доминантни процес који карактерише доњи део тока Јужне Мораве и њених највећих притока (Langović et al., 2021). Иако су варијације показатеља поменутих процеса рецентно присутне и условљене изменама различитих фактора (метеоролошких, хидролошких, биогеографских, антропогених) предиспонираност терена за њихову појаву омогућили су специфични геотектонски односи. Геотектонска еволуција овог простора утицала је на развој и оријентацију речног система Јужне Мораве, што представља предуслов за касније формирање најнижег дела слива, алувијалне равни и појаву процеса ерозије обала и латералног померања тока у пуном интензитету.

С обзиром на велико пространство (15.838 km²), специфичну геотектонску еволуцију и појаву различитих геотектонских јединица, основна карактеристика слива Јужне Мораве је комплексна геолошка грађа. На основу обраде и анализе Основне геолошке карте Србије и Бугарске (1:100000) за простор слива Јужне Мораве³, закључује се да је слив изграђен од различитих типова магматских, метаморфних и седиментних стена, палеозојске, мезозојске или кенозојске старости. Утврђена разноврсна грађа терена последица је значајних тектонских покрета и неправилног смењивања копнених и депозиционих средина (Костадинов и сар.,

³ За израду геолошке карте коришћени су листови: Алексинац, Ниш, Зајечар, Пирот, Бела Палка, Врање, Власотинце, Урошевац, Трговиште, Подујево, Параћин, Нови Пазар, Лесковац, Куршумлија, Куманово, Крушевац, Бољевац, Белоградчик, Брезник за територију Србије, односно листови Пирот, Власотинце-Брезник, Берковица и Софија за територију Бугарске.

2019). На Сл. 4 представљена је генерализована геолошка карта слива Јужне Мораве са циљем утврђивања размештаја и карактеристика основних геолошко-стенских комплекса.



Сл. 4. Генерализована геолошка карта слива Јужне Мораве

(Извор: Прерађена на основу „Основне геолошке карте Србије и Бугарске 1:100000“)

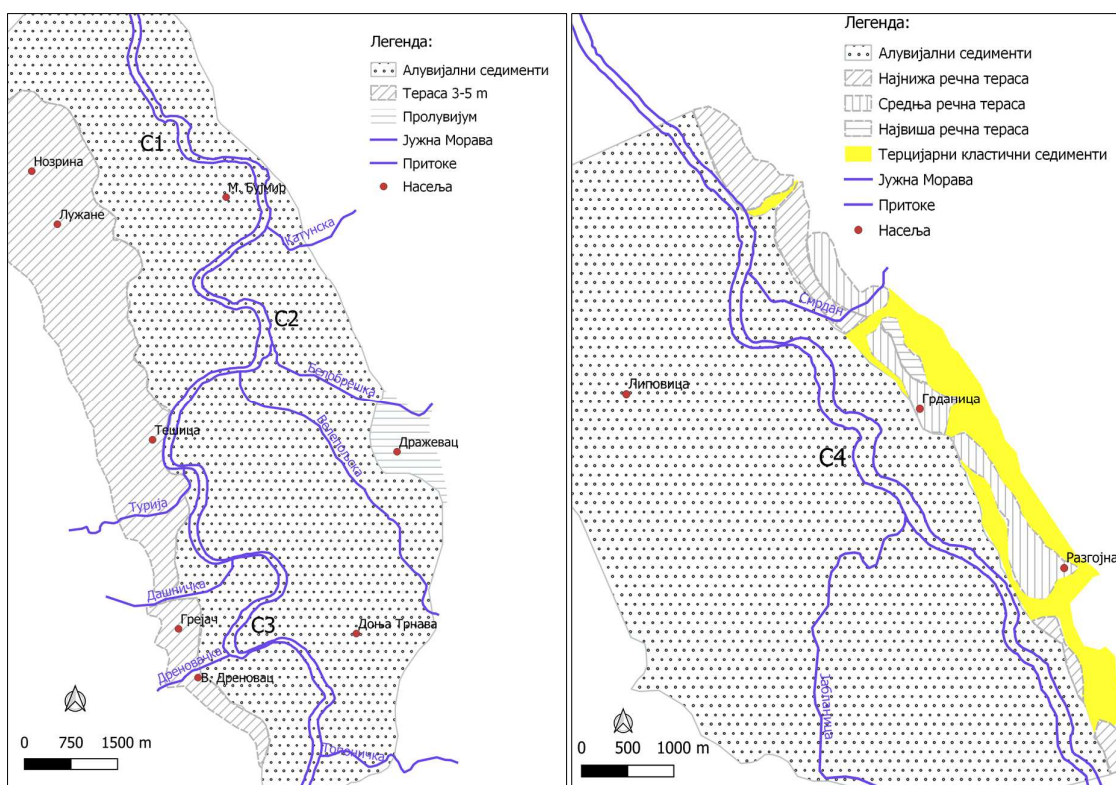
Најстарији тип стена у сливу Јужне Мораве представљају метаморфне стене које заузимају значајан процентуални удео слива реке (26,8% или 4.241,4 km²). Заступљене су са две групе стена, кристаластим шкриљцима вишег и нижег степена кристалитета (Petković, 1995). Првој категорији припадају гнајсеви, микашисти, лепинолити и амфиболитски шкриљци, док су у другој групи најрепрезентативнији зелени шкриљци (Власински комплекс) (Marović et al., 2007). Терене горњег и средњег дела слива Јужне Мораве изграђују претежно стене прве групације, од којих су најраспрострањенији гнајсеви (западна страна слива) и микашисти (источна страна слива). Простор између слива Нишаве на северу и тока Врле на југу изграђују претежно стене друге категорије (мусковит-хлоридски шкриљци). У највећем делу метаморфног комплекса слива Јужне Мораве видљиви су пробоји магматита (Сл. 4). Услед генералних карактеристика метаморфних стена које подразумевају водонепропустљивост и потпуно површинско отицање воде са једне, а слабе отпорности материјала са друге стране, у подножјима њихових комплекса видљиви су процеси појаве вододерина, јаруга и честе акумулације делувијума (Petković, 1995).

Од магматских стена које заузимају око 1.641 km² (10,4%) површине слива Јужне Мораве заступљене су обе њихове групације, интрузивне и ефузивне стене. Интрузивне стене, од којих су најзаступљеније гранити и гранодиорити посебно су распрострањене у горњем делу слива са леве стране тока реке (Бујановачки плутонит), са обе стране Врањске котлине (Сурдулички гранодиоритски плутонит) и у доњем делу слива са леве стране тока (Велики Јастребац). Ефузивне стене, представљене андезитима, дацитима и дијабазима посебне комплексе граде на простору око планине Радан (андезитски комплекс), док се спорадично јављају на простору планине Чемерник (дацити) (Сл. 4) (Petrović и сар., 1973; Petković, 1995).

Седиментне стене имају највеће распрострањене у сливу Јужне Мораве (62,8%), а представљене су са неколико главних целина – флишне стене, кречњачко-доломитски комплекси, седиментне стене неогених басена и квартарни седименти. Због општих карактеристика, састава и физичко-хемијских одлика неке од поменутих групација одликују се високим степеном еродибилности и чине значајну карику у процесима ерозије и акумулације материјала. Прву групу чине најстарије седиментне стене које су посебно развијене у средњем делу слива Топлице и изворишном делу реке Јерме. Углавном их сачињавају кластичне стене попут конгломерата, пешчара, алевролита, лапораца и глинача. Поред њих на простору Карпато-Балканида размештене су и мање серије палеозојских седимената (пермски пешчари). Кречњачко-доломитске стене мезозојске старости развијене су у сливу Нишаве и Сокобањске Моравице (Сл. 4). Представљене су тријаским, јурским и кредним кречњацама, али и серијама кречњака и кластичних седимената. Посебно су интересантне готово чисте партије чврстих кречњака Сврљишких планина и Суве планине (Dimitrijević и сар., 1980). Седименти неогених басена чине трећу групу која се одликује највећим распрострањењем на територији слива Јужне Мораве. У неогеним басенима некадашњих језера формиране су дебеле наслаге седимената, међу којима се истичу пешчари и конгломерати (Врањско-Бујановачки басен, басен Биначке Мораве) и глинци и лапорци (низводнији део). Сва котлинска проширења у долини Јужне Мораве и њених притока испуњена су терцијарним седиментима (Врањска, Нишка, Лесковачка, Топличка, Алексиначка котлина).

Последњу групацију у оквиру геолошке грађе слива Јужне Мораве представљају алувијални седименти и друге наслаге из периода плеистоцена и холоцена. Оне су састављене од шљунковито-песковитог наноса, глиновитих пескова и ситније дробине. Поред класичних алувијалних седимената распрострањени су и делувијални и пролувијални седименти који садрже крупнију дробину (посебно у зони ушћа већих притока, (нпр. Ветернице, Јабланице, Власине) (Сл. 4). Важно је напоменути и појаву језерских седимената тераса формираних у фази речних усецања долина након повлачења неогених језера.

Са аспекта проучавањег процеса последња поменута категорија стена је посебно интересантна. По комплексима алувијалних седимената од којих су грађене алувијалне равни Јужне Мораве и њених притока дешава се флувијални процес који укључује ерозију обала и акумулацију еродираног материјала. С тим у вези на Сл. 5 представљен је детаљнији приказ геолошке грађе простора око истраживаних сектора. Јужни део Алексиначке котлине уз ток Јужне Мораве у потпуности прекривају алувијални седименти, док једино речни ток код насеља Тешица пролази десном ивицом седимената речне терасе 3-5 m. Поред тога постоји и пролувијална седиментација на простору насеља Дражевац, односно на месту стицања локалне доње ерозивне базе Белобрешке и Велопољске реке. Другу деоницу истраживања одликује за нијансу комплекснија геолошка грађа. Широка алувијална равна (настала таложењем холоценских алувијалних седимената) пресечена је речним током Јужне Мораве по својој десној ивици. Дуж тока са десне стране видљиве су терасе првог, другог и трећег степена које су засуте флувијалним седиментима. С обзиром на специфичан положај тока на простору алувијалне равни уз десну ивицу тока налазе се и серије терцијарних кластичних седимената Бабичке Горе представљени конгломератима и бречама миоценске старости.



Сл. 5. Детаљан приказ геолошке грађе истраживаних сектора: део Алексиначке котлине (лево) и део Брестовачке котлине и Печењевачког сужења (десно)
(Извор: Прерађена на основу Сл. 4)

3.1.2. Геотектонске карактеристике слива Јужне Мораве

Територија слива Јужне Мораве може се детерминисати као комплексна у погледу геотектонских карактеристика и еволуције. Према класификацији Димитријевића (1997) на проучаваном простору неколико великих геотектонских јединица има своје распрострањење: Српско-македонска маса (централни део), Вардарска Зона (западни делови) и Карпато-Балканиди (северни и источни делови). Свака од поменутих јединица имала је специфичну еволуцију што је резултирало комплексном геолошком грађом и рецентно актуелним геоморфолошким процесима. Савремени простор слива Јужне Мораве обликован је дејством спољашњих сила, па се може закључити да су морфоструктурне јединице заправо полигенетске форме које су заједничким ефектом спољашњих и унутрашњих сила уобличене до данашњих дана. Дејством ендогених покрета формиране су основне контуре иницијалног рељефа, док су касније дејством егзогених појава оне у значајној мери преобликоване (Menković et al., 2018).

На формирање савремене геотектонске слике слива Јужне Мораве највећи утицај имали су тектонски покрети праћени различитим интензитетом издизања и спуштања. Прве копнене површине настале су на простору Српско-македонске масе током варисцијске (херцинске) орогене фазе, која је започела крајем девона, а завршила крајем перма и почетком тријаса. На тај начин је формирано иницијално копно које заузима главни, централни део слива Јужне Мораве простирући се између Карпато-Балканида на северу и истоку, и Вардарске зоне на западу (Павловић, 2018). Састављена је претежно од метаморфисаних стена често испробијаних магматским стенама.

Најзначајнији догађај у еволуцији слива Јужне Мораве, када она добија прве обресе данашњег изгледа, догодила се током неогена (посебно средином миоцена). Под утицајем тектонских покрета дошло је до издизања и комадања претходно створене јединствене масе дуж

уздужних, а нарочито попречних раседа, у односу на ток Јужне Мораве (Стевановић, 2014). Уздужним олиго-миоценским раседима разбијена је у блокове, па стога доминирају планине блоковског типа (раседне планине), а између њих међу планинске тектонске потолине - котлине, ровови, басени (Menković et al., 2018). У тој фази током неогена у насталим басенима формирана су језера у којима је био интензиван процес седиментације. Током касног миоцена Панонско море претвара се у језеро и престаје његова веза са Средоземним морем. На почетку плиоцена повлачењем залива Панонског језера наступило је интензивно засипање осталих котлина седиментима (Radivojević et al., 2014). Schweitzer (2015) истиче да је током касног плиоцена, услед повољнијих климатских услова, започело формирање речног система Дунава који и данас траје. Са све већим снижавањем нивоа Панонског језера и његовог повлачења реке које су се у њега уливале продуживале су своје токове.

Истовремено са овим процесом у водама Тетиса наступило је издизање и набирање планина Карпато-Балканида. Тада је за време алпске орогенезе у више наврата вршено убирање и навлачење. Због јаког процеса седиментације за време постојања океана, простор Карпато-Балканида на простору слива Јужне Мораве претежно је састављен од кречњака, пешчара и конгломерата. Такође, током плиоцена и квартара изражена је и вулканска активност чиме су формиран комплекс андезита и трахита (Zagorchev, 2020). Геотектонски развој слива Јужне Мораве током квартара условљен је тектонским покретима слабијег интензитета и значајним климатским променама специфичним за периоду плеистоцена.

За формирање и оријентацију читавог хидрографског система Јужне Мораве посебно важну улогу имао је правац пружања главних раседа. Формирање уздужних дислокација правца север-југ, а истовремено и хоризонталних раседа били су најважнији догађаји у периоду од палеогена до квартара. Основне раседне линије формирале су се већ на почетку миоцена. Попречни и дијагонални раседи дисецирали су регион Српско-македонске масе на више издигнутих и спуштених блокова што је пружило данашњи „шаховски изглед“ рељефу тог дела Србије (Marović et al., 2007). Великоморавски расед заузима важно место међу дислокацијама меридијанског правца пружања, а његов природни наставак чини јужно-моравски расед.

Током неотектонских орогених покрета неке потолине су се одликовале већим степеном спуштања (Алексиначки, Нишки, Лесковачки басен). Алексиначки басен пружа се између насеља Прасковац на северу и Доње Топонице на југу и састоји се из две индивидуализоване депресије: северне Брадарац – Мозгово и јужне Лужане. Прва депресија је овалног облика испуњена неогеним седиментима доњег миоцена, док њихова дебљина од 1.250 m упућује на висок ниво субсиденције или тоњења централне депресије. Раседи око депресије имају правац пружања ССЗ-ЈЈИ (главни расед спуштања) и СИ-ЈЗ (дијагонални расед). За проучаване секторе много важнија Лужанска депресија представља подручје максималне субсиденције у оквиру Алексиначке котлине (више од 1.500 m). Формирана је тоњењем блокова дуж раседа СИ-ЈЗ правца пружања (Marović et al., 2007). Јужно од њих уски део Великоморавско-јужноморавске депресије проширен је сегментарно у три веће потолине – Нишку, Лесковачку и Топличку. Лесковачки басен је добро индивидуализован између високих структура Карпато-Балканида и Српско-македонске масе. Окружују га раседи правца пружања ССЗ-ЈЈИ. Лесковачка депресија потонула је око 1.300 m (Marović et al., 2007). На простору Карпато-Балканида присутни су уздужни раседи правца пружања север-југ и северозапад-југоисток (Сокобањска котлина), док су попречни и дијагонални раседи формиран у оријентацији североисток-југозапад и северозапад-југоисток.

Поменути процес субсиденције повећавао је процес седиментације у доњим деловима новоформираних речних долина због смањене брзина тока. То је представљао и најзначајнији предуслов и ефекат за појаву процеса латералног померања речног тока и формирање меандара. Према томе, одређени процеси геотектонике доминантно одређују просторни распоред меандарских кривина (Finzi, 2015). Ghinassi и сар. (2013) су назначили да су облици

речне трасе директна последица процеса издизања и субиденције. Савремена геотектонска активност сагледана је и у раду Манојловић и сар. (2004) који су на основу израђене карте првог тренда енергије рељефа уочили делове територије Србије за које су карактеристични благи покрети издизања/тоњења. Након анализе посебно је наглашено да се спуштање терена догађа дуж раседа и да се ту формирају зоне повећане акумулације материјала, док су зоне издизања пропорционалне зонама потенцијалне ерозије. Примењујући објашњено на пример слива Јужне Мораве може се констатовати да се део средњег и доњи део тока спуштају према северу, што је од велике важности за ширење алувијалне равни, акумулацију материјала и латерално померање меандара.

3.1.3. Геоморфолошке карактеристике слива Јужне Мораве

Приликом дефинисања интензитета процеса латералног померања речног тока, ерозије обала и акумулације речног наноса неопходно је сагледати основне карактеристике рељефа истражног простора. Оне укључују пре свега анализу хипсометријских карактеристика рељефа, као и анализу специфичних нагиба терена. Као резултат деловања ендогених и егзогених сила, настале су најзначајније карактеристичне линије рељефа слива Јужне Мораве, чије је разумевање од посебне важности за правилно дефинисање локација високог интензитета процеса ерозије обала. Резултати оваквих анализа имају широку употребну вредност и незаобилазни су приликом утврђивања интензитета ерозивног процеса (Костадинов и сар., 2019). Велика површина слива Јужне Мораве условила је и изразиту различитост геоморфолошких карактеристика. Слив Јужне Мораве захвата површину од 15.838 km² и простира се на територији југоисточне Србије, источног дела Бугарске и мањим делом на северу Северне Македоније.

Анализа хипсометријских карактеристика рељефа незаобилазна је приликом процене утицаја орографских карактеристика терена на просторни интензитет геоморфолошких процеса, као и на варијације параметара осталих природних услова. На основу хипсометријске карте, могу се донети закључци о доминантности основних висинских зона рељефа и њихове процентуалне заступљености у укупној површини. Познавање хипсометрије слива важно је у циљу проучавања низијских и котлинских делова терена на којима уз посредство утицаја осталих фактора постоји могућност за појаву процеса ерозије обала. Осим тога, приликом одређивања основних морфометријских показатеља речног тока или неког његовог сегмента од изузетне важности је детерминисање тачних надморских висина. Посебан значај познавању ових карактеристика је њихов индиректни утицај на остале физичко-географске факторе чије варијације могу довести до промене интензитета флувијалног процеса.

Анализом хипсометријске карте слива Јужне Мораве (Сл. 6) може се извући закључак да у рељефу доминирају ниске планине (52,44%). Низијски предели, за које су карактеристични процеси ерозије обала и латералног померања речног тока заступљени су на 2,35% површине слива (Таб. 1) и обухватају доњи део тока реке Јужне Мораве и најзначајнијих притока (Сокобањска Моравица, Турија, Топоничка река, Нишава, Топлица, Пуста Река, итд). Основна карактеристика најнижег појаса је његова мала ширина која се у многим деоницама граничи са површином алувијалне равни Јужне Мораве. Хипсометријски појас до 200 m највећу површину захвата на простору Алексиначке котлине, док је крајња узводна граница његовог пружања део тока Јужне Мораве код насеља Запањска Топоница. Најнижа тачка слива Јужне Мораве од 130 m надморске висине налази се на саставу тока Јужне и Западне Мораве код Сталаћа.

Хипсометријски појас нижег побрђа, брежуљкастог и брдовитог терена (200-500 m) захвата 29,8% укупне површине слива. Скоро трећински удео у површини претходно поменутог појаса директна је последица специфичних геотектонских активности и формирања котлинских проширења знатних димензија. Основни правац пружања висинског појаса 200-500 m је дуж

средњег и горњег дела тока Јужне Мораве (надморска висина тачке спајања Прешевске Моравице и Биначке Мораве износи 397 m). Најмаркантнији облици рељефа формирану у поменутом хипсометријском појасу су Нишка и Лесковачка котлина, и њихово околно побрђе, затим доњи и средњи део тока Нишаве, Власине, Топлице, Пусте Реке, Јабланице и Ветернице. Карактеристика овог појаса јесу изражен процес ерозије обала, латералне миграције речног корита и континуиран развој меандара. Анализирајући податке из Таб. 1 може се закључити да у оквиру овог појаса највећи процентуални удео чине висине 400-500 m (11,03%) затим 300-400 m (9,75%), а најмањи 200-300 m (8,99%).

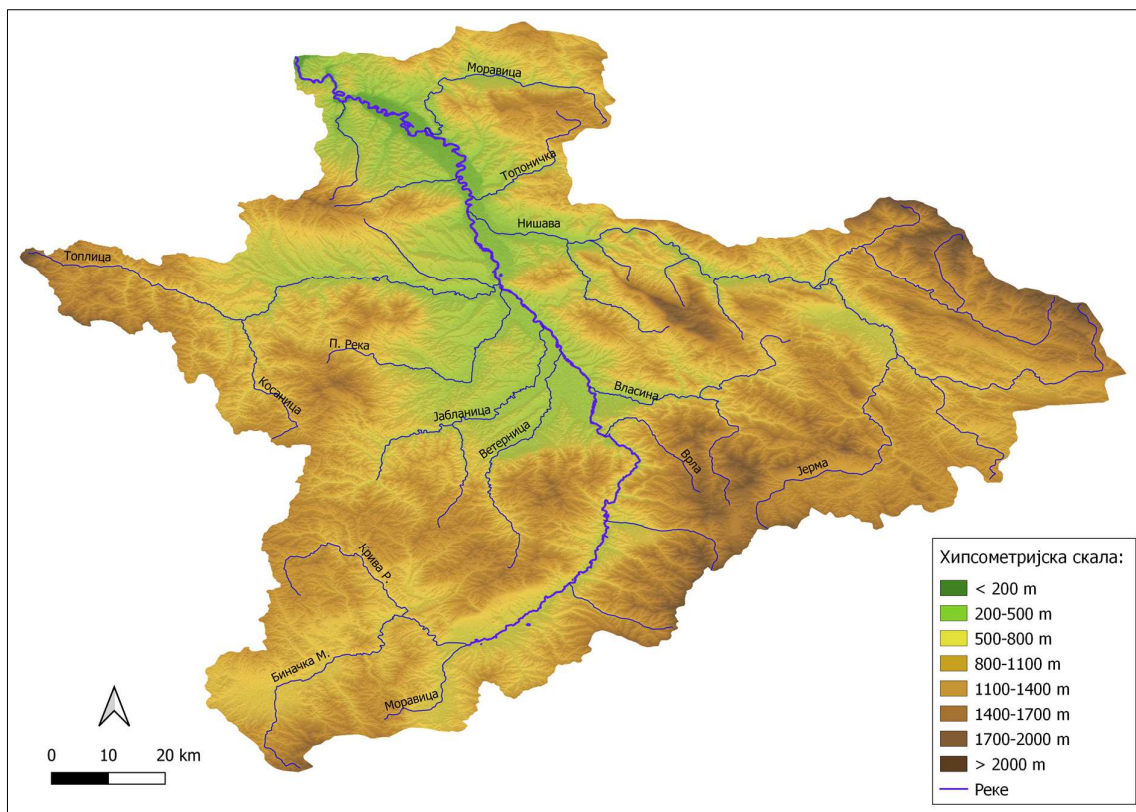
Таб. 1. Хипсометријска структура рељефа у сливу Јужне Мораве

| Висинске зоне | Површина (km ²) | Удео у укупној површини (%) |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| До 200 m | 372,6 | 2,35 |
| 200-300 m | 1.424,6 | 8,99 |
| 300-400 m | 1.545,6 | 9,75 |
| 400-500 m | 1.748,4 | 11,03 |
| 500-600 m | 1.992,7 | 12,58 |
| 600-700 m | 1.907,4 | 12,04 |
| 700-800 m | 1.780,7 | 11,24 |
| 800-900 m | 1.527 | 9,64 |
| 900-1.000 m | 1.100 | 6,94 |
| 1.000-1.100 m | 764 | 4,82 |
| 1.100-1.200 m | 533 | 3,36 |
| 1.200-1.300 m | 435 | 2,74 |
| 1.300-1.400 m | 264 | 1,66 |
| 1.400-1.500 m | 181,2 | 1,14 |
| 1.500-1.600 m | 120 | 0,75 |
| 1.600-1.700 m | 80,2 | 0,5 |
| 1.700-1.800 m | 32 | 0,2 |
| 1.800-1.900 m | 20 | 0,12 |
| 1.900-2.000 m | 8,9 | 0,05 |
| 2.000-2.100 m | 1,18 | 0,007 |
| Преко 2.100 m | 0,44 | 0,003 |
| Укупно | 15.838 | 100 |

Наредни хипсометријски појас (500-1.000 m) (Сл. 6; Таб. 1) захвата површину од 8.307,8 km², односно више од половине истраживаног простора (52,44%). Обухвата ниске планине Јужног Поморавља, и планинске стране и ободу средњих и високих планина. У северном делу слива обухвата планинске падине планина Јастребац, Ртањ, Озрен, планина у сливу Топлице и мање делове у сливу Нишаве. У централном делу слива шири се долинама притока Јужне Мораве, али и ужим долинама притока Ветернице, Нишаве и Јабланице. Одређени делови виших котлина (Пирот, Димитровград) налазе се у овом појасу. У јужном делу слива обухвата већи део простора Прешевске повије и ниже делове слива Биначке Мораве. Највиши врхови одређених раседних планина налазе се у оквиру овог појаса - Буковик (894 m), Селичевица (902 m), Крушевица (913 m). Појас висина 500-600 m обухвата највећи процентуални удео у оквиру хипсометријског појаса ниских планина са 12,58% (1.992 km²).

Појас средњих планина (1.000-2.000) захвата 15,34% површине слива Јужне Мораве (Таб. 1). Обухвата горње делове притока Јужне Мораве (Ветерница, Јабланица, Нишава, Власина). Код овог хипсометријског појаса присутан је градацијски тренд опадања процентуалног удела са растом надморске висине за 100 m, о чему сведочи чињеница да се 90% површине налази у појасу висина 1.000-1.500 m. У оквиру средњих планина Српско-македонске масе могу се издвојити: Бабичка Гора (1.057 m), Видојевица (1.155 m), Радан (1.409 m), Кукавица (1.442 m), Јастребац (1.491 m), Острозуб (1.546 m), Коћура (1.568 m), Чемерник (1.638 m), а од

маркантнијих и виших Грамада (1.721 m), Дукат (1.828 m), Варденик (1.876 m) и Бесна Кобила (1.922 m). Средње планине Карпато-Балканида на простору слива Јужне Мораве обухватају највише делове планина Озрен (1.178 m), Девице (1.187 m), Сврљишких планина (1.334 m), Видлича (1.377 m), Ртња (1.570 m), као и Суве планине (1.810 m) и Старе планине (Бабин Зуб – 1.757 m, Сребрна Глава – 1.932 m).



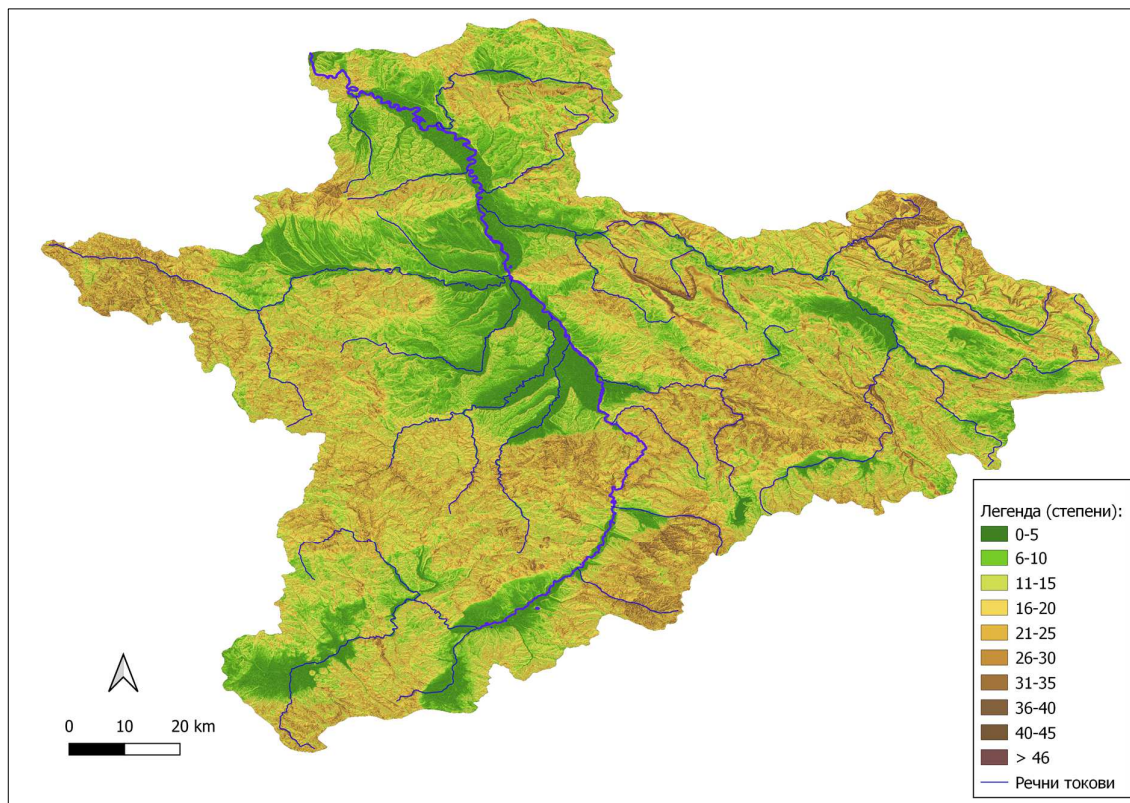
Сл. 6. Хипсометријска карта слива Јужне Мораве

Највиши хипсометријски појас са висинама преко 2.000 m захвата најмању површину од свега 1,62 km² (или 0,01% слива Јужне Мораве). У оквиру овог појаса налазе се и највише тачке у сливу - врх Миџор (2.169 m) на Старој планини, врх Ком (2.016 m) на Берковској планини и највиши врх Копаоника (2.017 m).

Други важан показатељ рељефних карактеристика који ће бити разматран у дисертацији представља угао нагиба рељефа. Свака површина терена комплетно је формирана од нагиба који контролишу гравитационе силе које покрећу геоморфолошке процесе, међу којима се фулвијални истиче као најзначајнији (Vogisov et al., 2011). Са порастом нагиба терена повећава се и кинетичка снага тока који се слива низ падину, што утиче на интензивирање вертикалне компоненте флувијалног процеса. Према томе, већи нагиби утичу на повећање брзине и кинетичке енергије речног тока, транспорт речног наноса, што је посебно важно са аспекта његове акумулације у доњим токовима река. Изразит транспорт речног наноса праћен акумулацијом материјала условљава појаву латералног скретања и померања речних токова, ерозију обала, итд. Значај познавања углова нагиба важно је и због његовог индиректног утицаја на друге физичко-географске процесе и појаве (нпр. падинске процесе).

Због претходно дефинисаног значаја, а на основу хипсометријске карте слива, израђена је и карта углова нагиба слива Јужне Мораве (Сл. 7). Од свих 10 издвојених категорија углова нагиба у сливу Јужне Мораве најраспрострањенији су они вредности у рангу 6-10° са 21,7%. Следи категорија углова нагиба ранга 11-15° са уделом од 16,9%, 0-5° са уделом од 15,9%. Према добијеним резултатима преко 50% површине слива Јужне Мораве има угао нагиба

испод 15° . Предели са углом нагиба између 16 и 20° заузимају око 14% површине слива, док они између 20 и 25° заузимају $7,8\%$. Све остале категорије присутне су са малим процентуалним уделом, али су оне врло значајне за процес ерозије и бујица карактеристичних за сливове мањих речних токова. Са аспекта проучаваног процеса најзначајнија категорија је она са вредношћу угла нагиба од $0-5^\circ$ за које се на основу добијених података може закључити да захвата знатан удео у укупној површини. На основу свега изнетог, може се констатовати да постоје велике орографске могућности за развој процеса бочне миграције тока и ерозије обала.



Сл. 7. Карта угла нагиба слива Јужне Мораве

Тектонска рашчлањеност рељефа, густа речна мрежа и геолошко-хидролошке особине стена утицале су да је ерозивна рашчлањеност рељефа веома изражена. Рашчлањена је и сама долина Јужне Мораве која има композитни карактер јер је чини више котлинских проширења и клисурастих долина које се наизменично смењују. Од свог настанка до Сталаћа долина има готово меридијански правац пружања, са малим изузетком на простору Грделичке клисуре. Почев од места спајања Прешевске Моравице и Биначке Мораве смењују се редом Врањска котлина, Грделичка клисура, Лесковачка котлина, Печењевачко сужење, Брестовачка котлина, Корвинградско сужење, Нишка котлина, Мезграјско сужење, Алексиначка котлина и Сталаћка клисура (Гавриловић & Дукић, 2014). Овакав композитни склоп долине Јужне Мораве знатно је утицао и на честе просторне промене основних морфометријских карактеристика тока - промене ширине корита, дубине корита, ширине алувијалне равни, итд. Такође, представљени геоморфолошки склоп терена условио је могућност појаве процеса ерозије обала дуж читавог тока од настанка до ушћа у сегментима котлинских проширења. На основу тога може се донети закључак да иако је процес ерозије обала карактеристика низијских предела, он се може јавити и у вишим надморским висинама, што се види на примеру котлина на току Јужне Мораве које се налазе изнад 200 m надморске висине.

3.1.4. Климатске карактеристике слива Јужне Мораве

Са претходно објашњеним физичко-географским карактеристика, климатске одлике одређеног простора представљају веома важан узрок који условљава варијације интензитета и фреквенцију појаве процеса ерозије обала. Сагледавање њихових промена и флукуација током дужих временских серија од посебне је важности приликом уочавања опште климатске слике читавог слива. У овом сегменту биће представљене само опште климатске карактеристике, док ће приликом објашњавања узрока повећања/смањења интензитета ерозије обала посебно бити анализирани и сагледани утицаји и односи између основних показатеља метеоролошких елемената и процеса ерозије обала. Клима има улогу активатора интензитета ерозије обала и њен утицај се манифестује директно, тј. преко вредности и интензитета појаве одређених климатских елемената, и индиректно, преко протицаја, вегетације и типова педолошког покривача који су непосредни одраз њеног карактера. Према томе, најсврхисходнији приступ проучавања климатских услова и њиховог утицаја на интензитет процеса ерозије обала је принцип заједничког утицаја свих чиниоца. Приликом разматрања климатских карактеристика одређеног слива, неопходно је узети у разматрање њене најважније елементе – температуру ваздуха и количину падавина и њихове вредности током периода од последњих 97 година.

Клима слива Јужне Мораве одликује се низом специфичности које су условљене великом површином коју захвата слив, географским положајем, удаљеношћу од Егејског мора, хипсометријским појасевима, вегетацијом, итд. При анализи климатских услова коришћени су метеоролошки подаци прикупљени са неколико метеоролошких станица у сливу Јужне Мораве за које постоје адекватни и потпуни подаци за дефинисани временски оквир истраживања. Подаци су обезбеђени од стране Републичког хидрометеоролошког завода Србије (РХМЗС), а списак станица са основним карактеристикама приказан је у Таб. 2. За касније утврђивање односа између вредности основних параметара температуре и падавина коришћени су подаци са више метеоролошких, климатских и падавинских станица које су у одређеној временској секвенци биле активне.

Таб. 2. Основни подаци о метеоролошким станицама у сливу Јужне Мораве

| МС | ГШ | ГД | НВ (m) | Активност |
|--------------|---------|---------|--------|-----------|
| Ниш | 43° 20' | 21° 54' | 202 | 1924-2020 |
| Лесковац | 42° 59' | 21° 57' | 231 | 1948-2020 |
| Врање | 42° 33' | 21° 55' | 433 | 1924-2020 |
| Пирот | 43° 19' | 22° 55' | 436 | 1924-2020 |
| Бабушница | 43° 04' | 22° 25' | 470 | 1958-2020 |
| Димитровград | 43° 01' | 22° 45' | 545 | 1947-2020 |
| Кукавица | 42° 47' | 21° 57' | 1.438 | 1953-2020 |

(Извор: РХМЗС)

Подаци о температурама за слив Јужне Мораве добијени су мерењима на главним метеоролошким станицама у сливу: Ниш, Лесковац, Врање и Димитровград и са три обичне метеоролошке станице (Пирот, Бабушница и Кукавица), за максимални период 1924-2020. године, односно краћи период за станице које су касније отпочеле са радом. Због специфичних орографских услова, одабране су станице које су позициониране у низијском, котлинском и планинском појасу посматране територије, како би се анализирали утицаји различитих хипсометријских појасева. Четири главне станице лоциране су до 500 m надморске висине, станица Бабушница у висинској зони 500-1.000 m, док је највиша станица у сливу, Кукавица, лоцирана на надморској висини од преко 1.000 m. Средње месечне и годишње температуре ваздуха приказане су у Таб. 3.

Највиша средња годишња температура ваздуха регистрована је на станици Ниш (11,9 °C), док је најнижа регистрована на планини Кукавици (6,4 °C). Генерално, годишња температура

ваздуха сразмерно опада са повећавањем надморске висине станице. Једино се одступање јавља код станице Лесковац на којој је забележена иста вредност температуре као на МС Врање (11,2 °C), иако се друга налази на скоро 200 m већој надморској висини. Врањска котлина се налази под постојаним утицајем топлијег ваздуха који се креће са простора Егејског мора долином Вардара и Пчиње и доста измењеним елементом стиже и до Врањске котлине (Костадинов и сар., 2019). Најхладнији месец је јануар у току којег је на свим станицама осим Ниша (0,1 °C) регистрована негативна вредност температуре. На Кукавици су током децембра и фебруара такође регистроване вредности испод 0 °C, са нагласком на нижим температурама у фебруару (за разлику од осталих станица код којих је фебруар за нијансу топлији у односу на децембар). Месец јул је најтоплији на станицама Ниш (22,3 °C), Лесковац, Димитровград и Бабушница, док је август топлији на станици Кукавица (16 °C). МС Врање и Пирот одликују се идентичним средњим месечним температурама током јула и августа. Амплитуда температуре најхладнијег и најтоплијег месеца се креће од 19,3 °C (на станици Кукавица) до 22,2°C, (на станици Ниш) што указује на повећану континенталност слива Јужне Мораве (Ракићевић, 1969).

Таб. 3. Средњемесечне и средњегодишње температуре ваздуха (°C) у сливу Јужне Мораве

| МС | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Ср. |
|--------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| Ниш | 0,1 | 2,4 | 6,7 | 12,2 | 16,9 | 20,4 | 22,3 | 22,1 | 17,8 | 12,2 | 7,1 | 2,2 | 11,9 |
| Лесковац | -0,2 | 2,0 | 6,5 | 11,5 | 16,3 | 19,8 | 21,5 | 21,2 | 16,8 | 11,3 | 6,3 | 1,7 | 11,2 |
| Врање | -0,2 | 2,0 | 6,1 | 11,2 | 15,8 | 19,3 | 21,5 | 21,5 | 17,1 | 11,8 | 6,3 | 1,6 | 11,2 |
| Пирот | -0,2 | 1,8 | 6,0 | 11,3 | 15,9 | 19,4 | 21,1 | 21,1 | 16,8 | 11,5 | 6,4 | 1,8 | 11,1 |
| Димитровград | -0,8 | 1,1 | 4,9 | 10,2 | 14,8 | 18,1 | 20,1 | 19,8 | 15,6 | 10,6 | 5,6 | 1,1 | 10,1 |
| Бабушница | -0,9 | 1,3 | 5,5 | 10,5 | 15,1 | 18,4 | 20,2 | 20,1 | 15,7 | 10,8 | 5,5 | 0,8 | 10,3 |
| Кукавица | -3,3 | -2,5 | 0,7 | 5,2 | 10,1 | 13,6 | 15,6 | 16,0 | 12,0 | 7,6 | 2,8 | -1,4 | 6,4 |

(Извор: РХМЗС (1946-2020); Општа државна статистика (1924-1945))

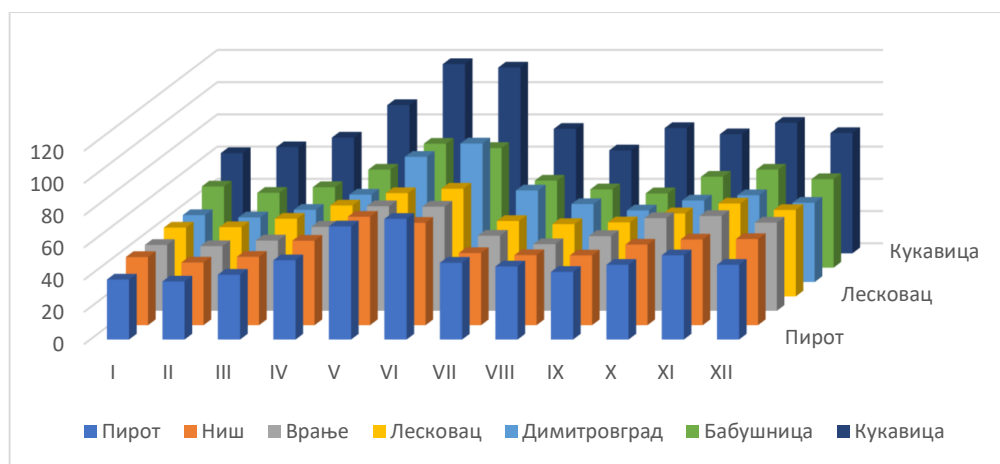
У сагласности са метеоролошким подацима о сезонским и годишњим температурама ваздуха, може се констатовати, да је клима овог простора континентална (долина Јужне Мораве и Нишаве), умерено-континентална (остатак слива) и индивидуално планинска (на највишим планинама). На јединој планинској станици у сливу (Кукавица) хладни зимски утицаји се осећају до дубоко у пролеће, што утиче на то да период достизања максималне температуре буде померен у односу на остале станице. Средње и високе планине у сливу, својим положајем и правцем пружања главног гребена утичу на модификовање климе, што се може приписати локалним факторима.

Анализирајући кретање просечних годишњих температура могу се издвојити одређене закономерности (Таб. 3). Лето је најтоплије годишње доба са температурама које се крећу у распону од 15,1 °C (Кукавица), преко 19,3 °C (Димитровград), 19,6 °C (Бабушница), 20,5 °C (Пирот), 20,8°C (Лесковац), 20,8°C (Врање) до највиших вредности од 21,6 °C (Ниш), док је зима најхладнија са температурама од: -2,4 °C (Кукавица) до 1,6 °C (Ниш). Код половине станица јесен је топлија од пролећа, а разлике у средњим температурама ових годишњих доба се повећавају са порастом надморске висине, па у Пироту, Врању и Димитровграду износе 0,7 односно 0,8 °C, док на Кукавици износе чак 5,6 °C. На станицама Бабушница, Ниш и Лесковац забележено је топлије пролеће у односу на лето за 0,1 °C (Бабушница), 0,4 °C (Ниш) и 1,2 °C (Лесковац).

Од свих климатских елемената, количина падавина представља најважнији јер условљава варијације хидролошких параметара (водостај и протицај), појаву екстремних водених таласа, па самим тим и процес ерозије обала. Иницијални параметар падавина који се користи у свим хидролошким и флувијално-геоморфолошким студијама је годишња количина падавина. Секундарни падавински показатељи (максимална годишња количина падавина, дневни екстреми, број дана са падавинама, итд.) важни за процес латералног померања, биће сагледани у поглављу „Варијације климатских елемената и утицај на ерозију обала“. За

стицање глобалне слике о водности одређеног простора довољно је проценити укупну количину падавина и плувиометријски режим (на основу података са претходно наведених основних станица у сливу). Велики допринос студиознијем проучавању утицаја на процес ерозије обала пружа постојање временских низова података у дугим временским серијама на бројним падавинским станицама које су у одређеним секвенцама биле активне.

На основу података са метеоролошких станица Ниш, Лесковац, Врање, Пирот, Димитровград, Бабушница и Кукавица, добијен је и представљен плувиометријски режим падавина (Сл. 8), за анализирани период 1924-2020. године. Очекивано, највише вредности годишње количине падавина регистроване су на станици Кукавица (974 mm). У изохијетном појасу 600 - 700 mm налазе се станице Бабушница (679 mm), Димитровград (647 mm), Лесковац (621 mm) и Врање (611 mm), док су најсушнији на годишњем нивоу Ниш (594 mm) и Пирот (588 mm). Анализирајући сезонске и месечне вредности могу се издвоји одређене специфичности. Најкишовитија сезона на свим станицама је пролеће, са годишњом сумом падавина која се креће у распону од 161 mm (27% од укупне количине) на станици Ниш до 281 mm на станици Кукавици (29%). Добијене вредности говоре о неповољном плувиометријском режиму јер се готово трећина падавина излучује за свега три месеца у просечној години. Месец у којем се излучи највећа количина падавина варира у зависности од дела слива, па је тако на станицама Ниш (67 mm), Бабушница (77 mm) и Кукавица (111 mm) најкишовитији месец мај, док је на станицама Врање (64 mm), Лесковац (67 mm), Пирот (74 mm) и Димитровград (86 mm) најкишовитији јун. О специфичном падавинском режиму сведочи и податак да иако прима најмању годишњу количину падавина у посматраном периоду станица Пирот се одликује вишом месечном вредношћу падавина најкишовитијег месеца у односу на станице Ниш, Врање и Лесковац. Најмања количина падавина регистрована је на највећем броју станица током фебруара, док су на станицама Лесковац и Кукавица забележене у јануару (у просеку 41 mm за све станице).

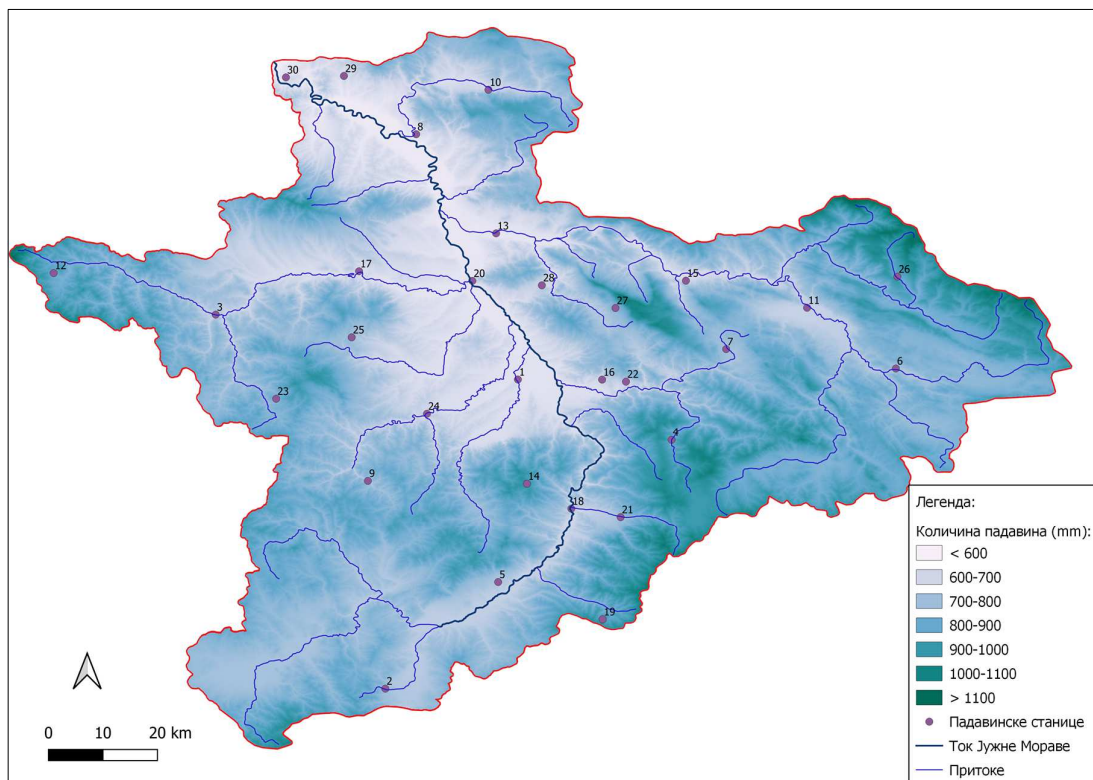


Сл. 8. Средњемесечне вредности падавина у сливу Јужне Мораве (1924-2020)

На основу доступних података са 30 падавинских и климатолошких станица у сливу Јужне Мораве извршена је анализа распореда падавина за читав истраживани период. Станице су подједнако распоређене на целој површини слива уз изузетак субслива Биначке Мораве у којој није регистрована ниједна станица.

У ту сврху представљена је изохијетна карта слива (Сл. 9) на основу које се види да се падавине крећу у распону од 576 mm до преко 1.100 mm. Вредности количине падавина расту са повећањем надморске висине, при чему у планинским подручјима вертикални градијент падавина варира у распону 20–40 mm/100 m надморске висине (Костадинов и сар., 2019). Најнижа изохијета од 600 mm ограничава појас долине Јужне Мораве узводно до Лесковца, долине Нишаве (Нишка, Пиротска и Белопаланачка котлина) и читав доњи део слива Топлице.

На том простору се налазе и нека од најсушнијих места у Србији (Бела Паланка, Прокупље). Појас са вредностима падавина у распону 600-700 mm карактерише највећи део слива и обухвата остатак долине Јужне Мораве и доњих и средњих делова тока њених највећих притока. Наредна два изохијетна појаса (800-1.000 mm) обухватају углавном источне делове слива, односно планинске масиве Бесне Кобиле, Суве планине, Сврљишких планина и Старе планине (горње делове слива Нишаве и средњи део слива Власине). Зона нижих вредности (800-900 mm) захвата и ободне делове Врањске котлине и Грделичку клисуру (сливови Врле, Козарачке реке и Врањскобањске реке). Западно од главног тока Јужне Мораве поменута зона заступљена је у горњим деловима сливова Ветернице, Топлице и Пусте Реке. Два падавинска појаса са највећим вредностима (преко 1.000 mm) захватају највише делове Старе Планине, Суве планине, Кукавице, Копаоника и Бесне Кобиле.



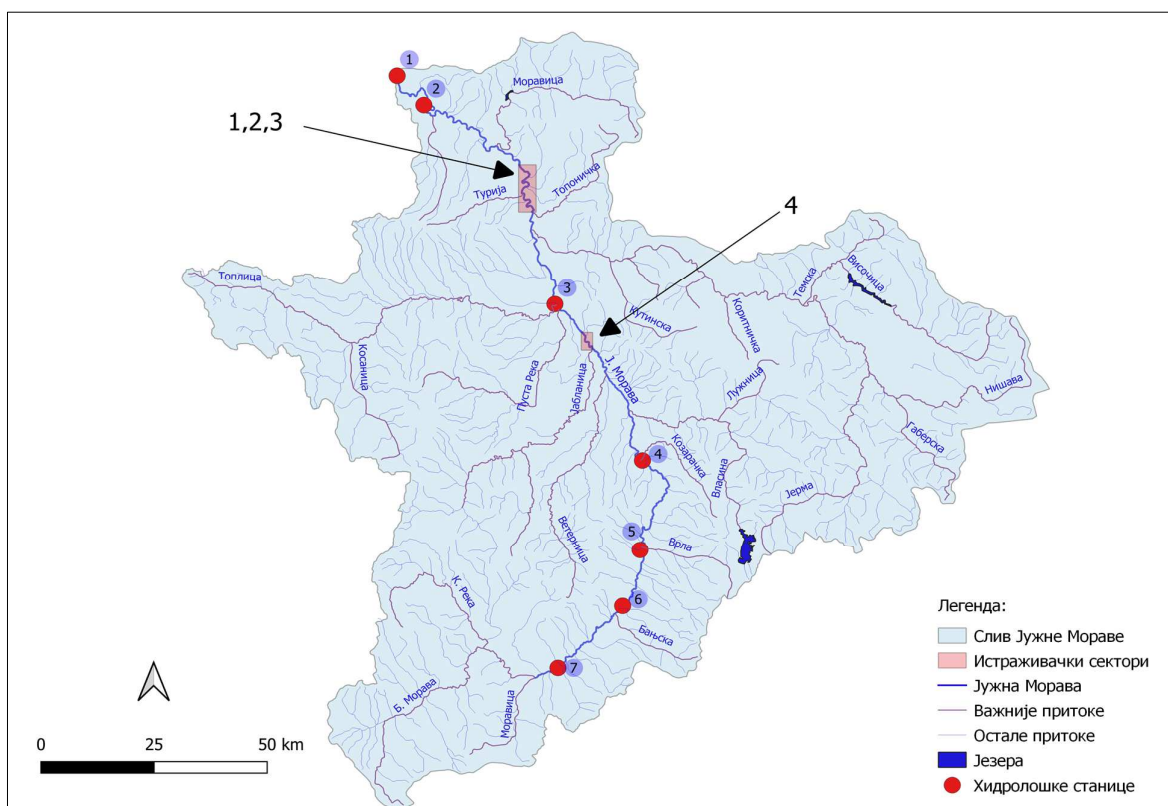
Сл. 9. *Изохијетна карта слива Јужне Мораве са означеним падавинским станицама* (станице: 1. Лесковац, 2. Прешево, 3. Куршумлија, 4. Власина, 5. Врање, 6. Димитровград, 7. Бабушница, 8. Алексинац, 9. Сијаринска бања, 10. Сокобања, 11. Пирот, 12. Блажево, 13. Ниш, 14. Кукавица, 15. Бела Паланка, 16. Власотинце, 17. Прокупље, 18. Владичин Хан, 19. Стари Глог, 20. Клисуре, 21. Сурдулица, 22. Крушевица, 23. Иван Кула, 24. Лебане, 25. Житни Поток, 26. Дојкинци, 27. Кателинац, 28. Гркиња, 29. Ражањ, 30. Сталаћ)⁴

На основу кратке климатске анализе слива Јужне Мораве може се закључити да се ради о једном врло хетерогеном простору са локалитетима који се одликују ниским количинама падавина (у односу на просек у Србији), а високим годишњим температурама. Таквим карактеристикама се одликује и појас дуж тока истраживане реке (доњи и средњи део тока). Међутим, такво стање посебно иде у прилог процесу ерозије обала јер се подразумева знатно јачи ефекат максималних дневних екстрема падавина на простору који у стогодишњем периоду прима количину падавина мању од 600 mm.

⁴ Одређене падавинске и климатолошке станице немају пуне низове података у периоду 1924-2020. године, те су за потребе проучавања утицаја падавинске варијабилности и екстрема искоришћене само оне са пуним низовима или само периоди који садрже све потребне податке.

3.1.5. Хидролошке карактеристике слива Јужне Мораве

Најзначајнији физичко-географски параметри приликом проучавања проблематике латералног померања речног тока укључују хидролошке факторе, пре свега варијације вредности протицаја и појаву екстремних дневних вредности. Због високог степена варијабилности на месечном, годишњем и вишегодишњем нивоу потребно је извршити детаљну анализу како би се сагледали сви хидролошки аспекти битни за поменути процес. Стога је у поглављу „Хидролошки узроци интензитета ерозије обала“ извршена анализа вредности протицаја од годишњих до дневних са посебним нагласком на корелациони однос према добијеним вредностима интензитета латералног померања тока и ерозије обала.



Сл. 10. Речни систем Јужне Мораве са истакнутим хидролошким станицама на главном току (1. Сталаћ, 2. Мојсиње, 3. Корвинград, 4. Грделица, 5. Владичин Хан, 6. Врањски Прибој, 7. Ристовац)

Јужна Морава настаје спајањем Биначке Мораве и Прешевске Моравице код Бујановца на 392 m надморске висине. Укупан пад тока у ужем смислу износи 263 m, а просечан 1,07‰ (Гавриловић & Дукић, 2014). Биначка Морава, дужа саставница, настаје од Големе и Слатинске реке код села Клокота на 448 m висине. Њена долина је такође композитна јер се смењују Гњиланска котлина, Изморничко проширење, Кончуљска клисура и Врањска котлина у којој се спаја са Прешевском Моравицом. Дужина јој је 49,5 km, а површина слива 1.715 km² (Павловић, 2018). Према хидролошком принципу одређивања главног изворишног крака реке, дужина Јужне Мораве износи 295,5 km (рачунајући са саставницама Биначке Мораве). Од свог настанка долина Јужне Мораве има композитни карактер, што је објашњено у претходном поглављу.

Површина слива Јужне Мораве износи 15.838 km², од чега се на територији Србије налази 14.372,5 km², а остатак од 1.096 km² у Бугарској (горњи део слива реке Нишаве, и средњи део слива Јерме) и 369,5 km² у Северној Македонији (горњи део слива Биначке Мораве). Слив је асиметричан, односно доминантнија је десна страна слива, док је лева уска. Јужна Морава прима укупно 157 притока, 75 левих и 82 десне (Гавриловић & Дукић, 2014) (Сл. 10). Највећа

и најзначајнија притока је Нишава која јој притиче са десне стране и која одводњава делове Старе и Суве планине. У просеку даје око 36 m³/s воде Јужној Морави (станица Ниш, 1968-2017. година), те знатно утиче у њеном храњењу. Узводно од Нишаве такође са исте стране у Јужну Мораву се уливају: Власина (7,56 m³/s, ХС Властинце), Козарачка река, Врла, Врањскобањска река и саставница Прешевска Моравица, док се са леве стране од значајнијих притока издвајају Топлица (9,48 m³/s, ХС Дољевац), Пуста Река (1,7 m³/s, Пуковац), Јабланица (3,85 ХС Печењевице) и Ветерница (3,8 m³/s, ХС Лесковац). Низводно од ушћа Нишаве важније притоке су Сокобањска Моравица (2,7 m³/s, ХС Жучковац) и Топоничка река са десне, а са леве стране Турија и Рибарска река. Због претходно објашњених климатских услова који владају у доњем и средњем делу слива Јужне Мораве велики број њених притока су сушице. На најнизводнијој станици Мојсиње регистрован је средњегодишњи протицај од 91 m³/s у периоду 1924-2020. године.

3.1.6. Вегетацијске карактеристике и коришћење земљишта у сливу Јужне Мораве

Вегетацијске карактеристике слива Јужне Мораве укратко су сагледане кроз анализу карте распрострањења одређених типова вегетације и начина коришћења земљишта. С обзиром на специфичности слива Јужне Мораве, начин коришћења земљишта јавља се као важан фактор ерозије, транспорта суспендованог наноса у рекама, па према томе индиректно има утицај и на повећање/смањење интензитета процеса ерозије обала и акумулације еродираниог материјала. Интензивним коришћењем земљишта, начином обрађивања, дефорестизацијом и антропогенизацијом, становништво посредно утиче на појаву хидролошких и псамолошких варијација одређене реке.

Начини коришћења земљишта и пошумљеност слива Јужне Мораве сагледана је на основу доступне базе *Corine land Cover* (у оквиру програма *Copernicus*, односно Европског програма за опсервацију земљине површине) из 2018. године (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>). У овом сегменту дисертације анализиран је цео слив Јужне Мораве, док су након дефинисања студија случаја посебно наглашени истраживани сектори и њихове карактеристике. На основу доступних података, формирана је карта намене коришћења земљишта у сливу Јужне Мораве (Сл. 11) на којој је приказано 29 присутних класа различитог значаја и распрострањења.

У циљу прегледнијег приказивања добијених резултата поменуте класе груписане су у пет главних категорија: вештачке (антропогене) површине, пољопривредне области, шумско-жбунасте области, мочварне области и области водених површина. Резултати (Таб. 4) су указали да је у сливу Јужне Мораве највише заступљена класа шумско-жбунастих области са 63,4% удела у односу на укупну површину. Након тога следе пољопривредне области са 33,9%, антропогене творевине са 2,43%, док је очекивано најмањи удео водених (0,25%) и замочварених (0,04%) површина.

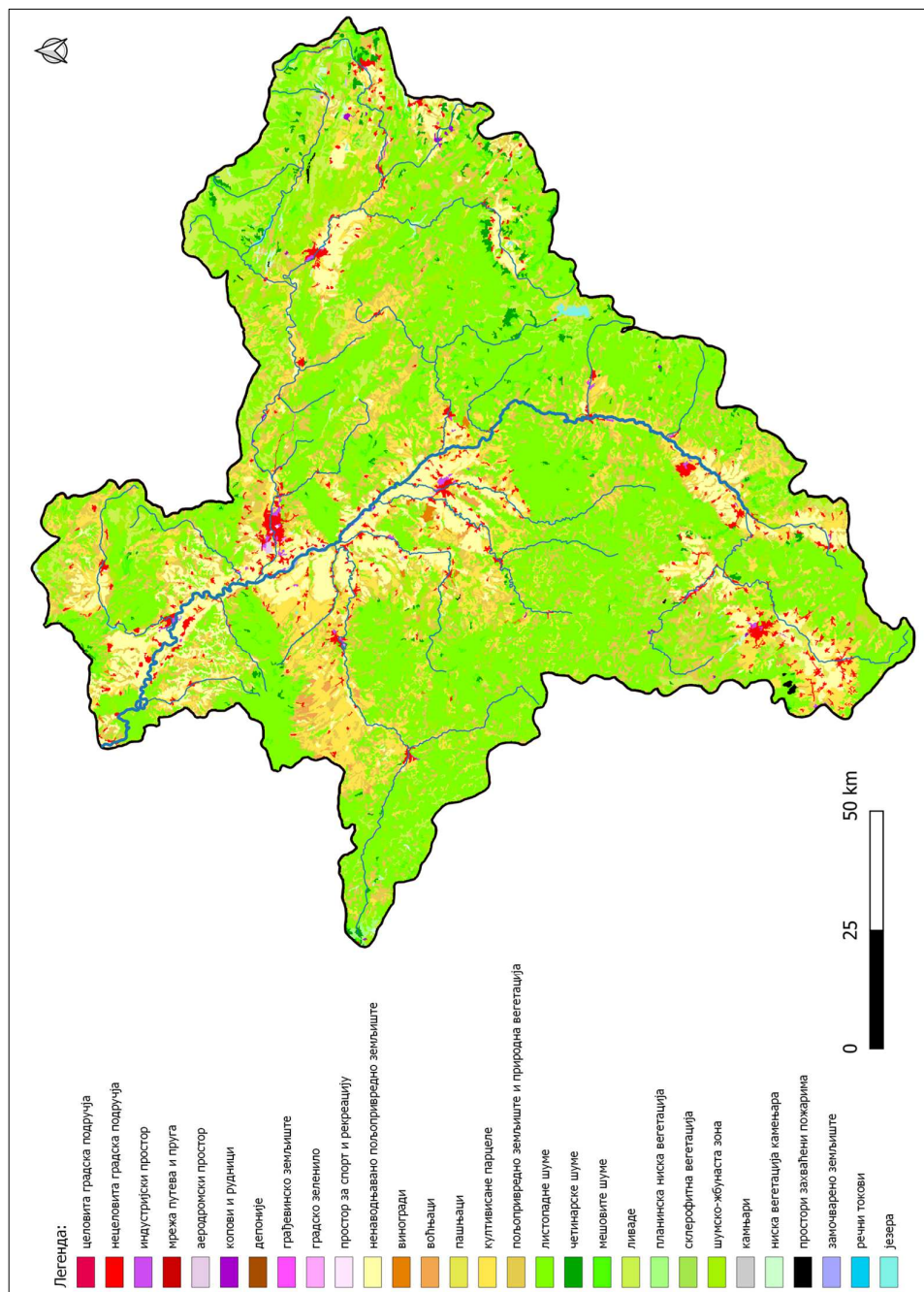
Таб. 4. Процентуални удео одређених класа намене коришћења земљишта

| Класа | Површина (km ²) | Удео (%) |
|---------------------------|-----------------------------|----------|
| Антропогене творевине | 389,79 | 2,43 |
| Пољопривредне области | 5.421,8 | 33,9 |
| Шумско – жбунасте области | 9.981,8 | 63,38 |
| Замочварено земљиште | 5,88 | 0,04 |
| Водене површине | 38,4 | 0,25 |
| Укупно | 15.838 | 100 |

(Извор: Прерађена на основу Corine land cover, 2018)

Генерализовано представљање података у Таб. 4 може често изазвати погрешан закључак о вегетационим карактеристикама и начину коришћења земљишта у сливу Јужне Мораве. Под класом шумско-жбунасте области груписано је 10 подкласа чијом анализом се добија јаснија

слика. Њихов највећи удео припада широколисним листопадним шумама (око 60% или 39,3% од укупне површине), жбунасто-шумској зони (17,5% или 11% од укупне површине) углавном карактеристичне за обалски појас највећих речних токова и травњаке и ливаде (7,1%). Остале класе имају удео мањи од 5%, нпр. мешовите шуме (2,7%), четинарске шуме (1,4%), док су класе планинске ниске вегетације, склерофитне вегетације, ниске вегетације камењара и вегетације склоне шумским пожарима заступљене са мање од 1% у односу на укупну површину шумско-жбунасте области. Посматрајући Сл. 11, може се закључити да су листопадне шуме највише заступљене у горњим деловима сливова Власине, Врле, Ветернице, Нишаве, готово у целом сливу Косанице, Височице, Темске, итд.



Сл. 11. Различите категорије начина коришћења земљишта у сливу Јужне Мораве (Извор: Прерађена на основу Corine land cover, 2018)

Са друге стране, групи пољопривредних области припадају култивисане парцеле (31,2%), ненаводњаване површине (26,7%), области мешавине пољопривредних површина и природне вегетације (35%), пашњаци (5,9%), док површину мању од 1% заузимају воћњаци и виногради. С обзиром на извршену високу генерализацију приликом израде карте, у старту је умањено њихово распрострањење у сливу. Пољопривредне површине свих категорија су претежно заступљене дуж главног тока (Алексиначка, Нишка, Лесковачка и Врањска котлина), доњем и средњем делу тока Сокобањске Моравице, Нишаве, Топлице, Ветернице, Јабланице и Пусте Реке, дуж највећег дела тока Биначке Мораве и Криве Реке. Од антропогених творевина највећи удео отпада на сеоска и градска насеља (85,8%) док мањи удео чине индустријске целине, саобраћајна инфраструктура, градске зелене површине, као и подручја под коповима, рудницима, депонијама и слично. За простор око тока Јужне Мораве посебно је потребно нагласити зоне специјалне намене које укључују релативно новоформирана поља експлоатације шљунка и песка из речног корита и алувијалне равни реке. На основу анализираних података може се установити да је пошумљеност слива Јужне Мораве знатно виша од просека за Србију, што је значајан податак посебно са аспекта ерозивних процеса у сливу. Висока вредност под шумама делом је последица депопулационих процеса који су захватили највећи део слива Јужне Мораве и са друге стране знатних антиерозивних радова који су претходних деценија вршени у циљу спречавања велике количине транспорта наноса главним током и притокама.

3.2. Антиерозивни радови у сливу Јужне Мораве

У групу антиерозивних радова који се спроводе у одређеном сливу ради спречавања интензивне ерозије спадају, осим биолошких (затрављивање и пошумљавање), и техничко-грађевински радови који укључују изградњу ретенција и микроакумулација, поречних и уздужних грађевина у кориту главне реке и притока (Ристић и сар., 2015). Све оне имају исти циљ, а последица њиховог коришћења и изградње огледа се у смањењу дотока наноса у доње делове слива. Из тог разлога антиерозивне мере и радови могу имати велику улогу и утицај на процесе ерозије обала, а посебно процес акумулације речног наноса. Велика количина речног наноса доспева из виших делова слива, а његово таложење дешава се у доњим деловима тока, нарочито дуж ковексних страна меандара. Као крајњи резултат примене антиерозивних радова и мера је промена хидролошких услова у сливовима малих бујичарских токова, количина отицања, као и смањење разорне моћи поплавног таласа и ризика од истих (Костадинов и сар., 2019).

Први радови за борбу против ерозија и бујица у сливу Јужне Мораве почели су још крајем 19. века, али од 1907. године регистровани су у званичним документима (Борисављевић & Костадинов, 2012). Они се односе на уређење бујичних токова у зони укрштања са железничким пругама (углавном успостављањем преграда узводно од трасе пруге). Посебно је била угрожена железничка пруга на простору Грделичке клисуре и путеви у околини Власотинца. Од 1927. године почиње већа примена комбинованог система техничких, биолошких и биотехничких мера као вид борбе против ерозије и бујица, а након донесеног закона о уређењу бујица 1930. године још више је напредовао овај сектор (Kostadinov et al., 2018).

Знатно већи обим радова изведен је у периоду након Другог светског рата. У том контексту посебно је наглашен период 1961-1988. година. У овом периоду извршена је конструкција објеката у коритима бујичарских токова у виду преграда и прагова за задржавање вученог наноса, а од 1955. године почиње употреба и габиона. Највећи број радова урађен је у Грделичкој клисури и Врањској котлини (попречне преграде, нпр. на реци Врли). Истовремено вршено је пошумљавање стрмих падина слива Јужне Мораве садњом црног бора и багрема. На деоници тока Грделица – Сталаћ број изведених антиерозивних радова је био знатно мањи и углавном је везан за слив Топлице, Јабланице и Ветернице (Petković, 1995; Радоњић, 2018).

Kostadinov и сар., (2008) наводе да су у периоду 1946-2006. године извршени обимни и значајни антиерозивни радови који укључују затрављивање и пошумљавање голети и изградњу 54 преграде у горњем делу слива Топлице.

У сливу Јужне Мораве, у склопу пројекта смањења количине наноса који Великом Моравом доспева до реке Дунав и тиме засипа хидроелектрану Тердап, пројектовано је и урађено више акумулација у сливу. Међу највећим и најрепрезентативнијим пројектима су и Бованско језеро на Сокобањској Моравици изграђено 1978. године, Брестовачко језеро на Пустој Реци из 1985. године, Барје на Ветерници (1991. године), Завојско језеро на Височици (1963. године, првобитно настало природним процесом), Првонек на Врањскобањској реци (2005). Поред тога у склопу заштите од бујица, наноса и поплавних таласа изграђено је и више мањих акумулација, нарочито у сливу Топлице (језера Придворичко, Растовничко, Бресничко), сливу Нишаве (Дивљанско, Јарловачко), Врле (Влашки Дол), Прешевске Моравице (Ораховачко), Биначке Мораве (Прилепничко), итд. Иако многим није примарна функција коришћење у циљу одбране од поплава, бујица и смањења транспорта седимената низводно од бране, многа су послужила тој функцији.

3.3. Дефинисање референтног простора истраживања

За потребе истраживања варијабилности интензитета ерозије обала и латералне миграције Јужне Мораве и њихове корелације са хидролошким, климатским, вегетацијским и антропогеним факторима одабране су најрепрезентативније деонице на којима је на дугорочном и краткорочном нивоу вршено праћење поменутих процеса (Сл. 10). Неколико основних критеријума узето је у разматрање приликом избора референтних сектора за потребе истраживања: постојан интензитет померања обала у савременим и историјским оквирима, различитости у погледу локалних физичко-географских и друштвено-географских услова, одсуство директних регулационих радова, приступачност сектора за потребе теренских истраживања и значај за праксу.

Интензитет померања обала утврђен је на основу доступног картографског материјала и сателитских снимака. У првој фази извршен је попис свих деоница са постојаним деградираним обалама, што упућује на закључак о рецентној активности реке. Након тога, сагледавањем картографских подлога старијег датума одабрано је девет сектора Јужне Мораве који се одликују одређеним варијацијама у положају речног тока. После укључивања и осталих критеријума, одабир локација је сведен на четири истраживачка сектора у оквиру којих се налази седам меандара Јужне Мораве. Приликом узимања у разматрање одређених деоница посебно су били интересантни локални природни услови са акцентом на значајне факторе који утичу на посматрани процес. Будући да река Нишава представља ток који доноси највећу количину воде Јужној Морави, узети су у разматрање меандри узводно и низводно од ушћа поменуте реке. Такође, када је реч о вегетационом покривачу који се јавља као важан фактор контроле ерозије обала, у одабир је уврштен диверзитет у том погледу: присуство травнате, жбунасте и дрвенате вегетације. Од локалних друштвено-географских услова посебно је наглашен значај коришћења земљишта у обалском појасу, односно постојање пољопривредних површина, или антропогених творевина што ће бити посебно изражено приликом обраде дела о последицама самог процеса. Исто тако, положај осталих делатности човека, попут експлоатације шљунка и песка из приобаља узето је у обзир приликом избора.

Трећи критеријум је подразумевао одсуство регулационих радова. Различити радови у речном кориту и дуж обала (просецање меандара, изградња обалоутврда, насипа, напера, итд.) имају утицај на кретање воде чиме се ерозија обала или спречава или интензивира у низводном сектору. Због тога су елиминисани сектори у којима постоје директни регулациони радови. Фактор који је имао значајни допринос приликом избора сектора представља и приступачност локације за потребе теренских метода истраживања (постављање референтних тачака, снимања, мерења висине обале, итд.).

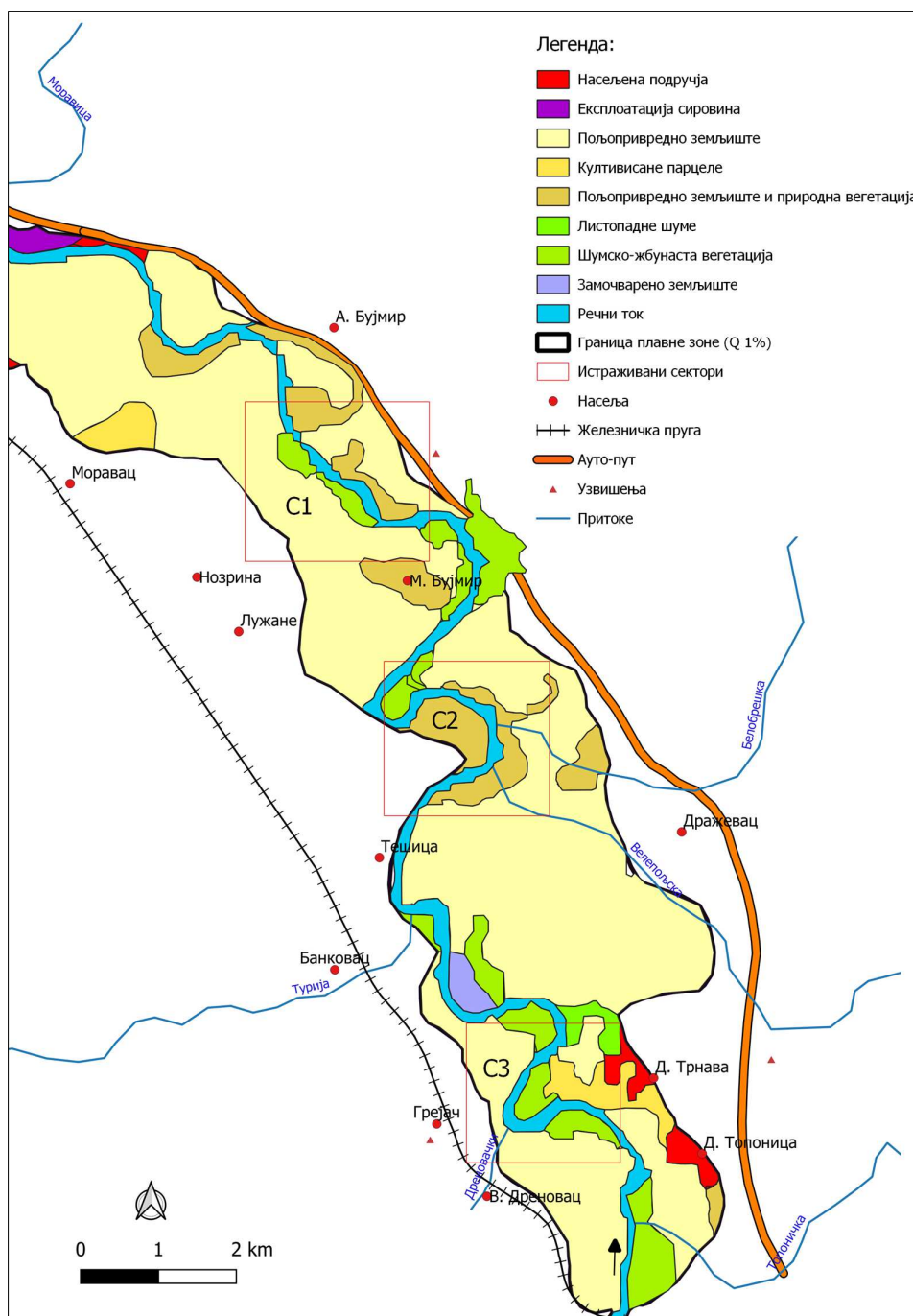
Након што су представљени критеријуми за одабир четири референтна сектора на којима ће се вршити мониторинг положаја обалских линија, области ерозије и акреације током дужих и краћих интервала, неопходна је анализа њиховог положаја и основних локалних физичко-географских и социо-економских карактеристика. Претходно су у оквиру анализе геолошких и геоморфолошких карактеристика слива Јужне Мораве, посебно истакнути ови сегменти.

Први најнизоводнији проучавани сектор обухвата деоницу тока Јужне Мораве са следећом речном стационом: 58 km + 545 m - 59 km + 586 m, према положају тока из 2021. године. Поменути стационажу потребно је узимати само условно, јер су током дуге вековне еволуције одабрани меандри често излазили из оквира од једног километра у којима се данас налазе. Дати речни километри важни су са аспекта проучавање сезонске и интрагодишње варијабилности.

Истражни сектор је I смештен је у југоисточном делу простране Алексиначке котлине (Сл. 12) на надморској висини од 161,5 m. На мање од 700 m удаљености са десне стране издиже се Бујмирско брдо, високо око 250 m надморске висине. У административном погледу сектор I налази се на територији општине Алексинац у атарима три насеља: Алексиначки Бујмир са североисточне и источне стране, Нозрина са северозападне стране и Моравски Бујмир у централном и јужном делу. Реч је о деоници са веома израженим процесом ерозије обала о чему говоре и деградиране обале са обе стране речног тока. Из тог разлога, могућа је диференцијација сектора на два меандра: M1 са десне и M2 са леве стране. Самом десном ивицом алувијалне равни недалеко од посматраног сектора пролази ауто-пут А1 (Београд – Ниш), док са леве стране постоји неколико атарских путева који повезују села Нозрину и Моравски Бујмир. Од регулационих радова запажен је део насипа који се пружа са леве стране Јужне Мораве од насеља Житковац према насељу Моравски Бујмир. Поменути насип у рецентним оквирима нема утицаја на процес ерозије обала, док ће се његов значај током 1960-их година детаљније објаснити у оквиру поглавља „*Резултати истраживања*“. Дуж спољне обалске линије првог меандра простиру се пољопривредне површине, док се дуж спољне обалске линије другог меандра наизменично смењују пољопривредно земљиште и природна вегетација обалског појаса (Сл. 12). Такође, око конвексних страна меандра су серије шумско-жбунасте вегетације углавном фрагментирано. У границама истраживаног сектора I нису регистроване регулационе грађевине у кориту, као ни присуство експлоатационих подручја песка и шљунка из речног корита или приобаља.

Значај проучавања интензитета ерозије обала на поменутом сектору од посебне је важности због површина пољопривредног земљишта које бива деградирано као последица процеса, али и потенцијалној угрожености ауто-пута уколико би се интензитет процеса наставио. Реч је о једном од најплоднијих делова долине Јужне Мораве где постоје оптимални услови за узгајање различитих култура.

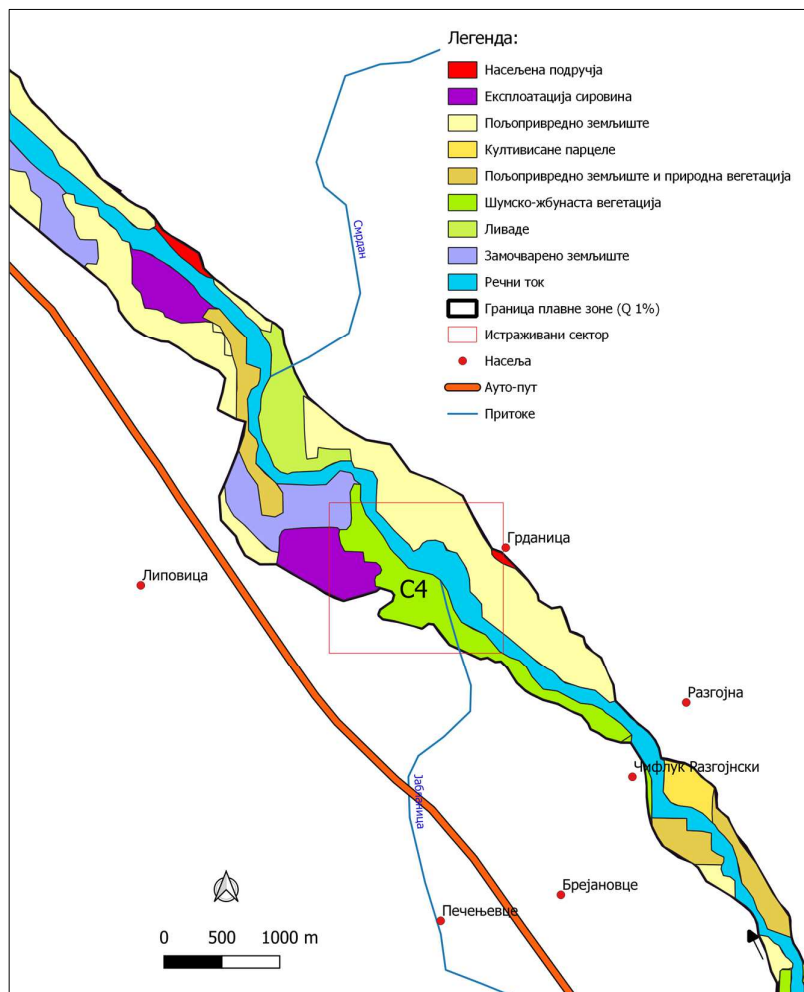
Други сектор се налази око четири километра узводније и одређен је речном стационом од 63 km + 799 m до 65 km + 357 m. За разлику од првог сектора, он је скоро у централном делу алувијалне равни Јужне Мораве, удаљен око 3 km од леве ивице и 1,3 km од десне. Смештен је у јужном делу Алексиначке котлине на ушћима Белобрешке и Велополске реке, десних притока Јужне Мораве (Сл. 12). Такође се налази на територији општине Алексинац, у атарима насеља Тешица и Дражевац. Речно корито се налази на надморској висини од 164 до 165 m. Са десне стране пружа се регионални пут Ниш - Дражевац - Алексинац и деоница ауто-пута А1, док је са леве стране на удаљености од око 0,9 km лоцирано насеље Тешица. Према сателитским снимцима и карти начина коришћења земљишта, можемо уочити да се око истраживачког меандра III налазе чисте пољопривредне површине или сегменти са пољопривредним површинама и обалском вегетацијом (Сл. 12). Антропогених и регулационих радова на сектору нема, као ни узводно од њега. Око самог сектора и на удаљеностима преко километар може се увидети постојање меандарских ожиљака који указују на изражајну еволуцију тока Јужне Мораве.



Сл. 12. Локалне географске карактеристике и начин коришћења земљишта дуж тока Јужне Мораве на деоници око првог (C1 - M1 и M2), другог (C2 - M3) и трећег (C3 - M4) истраживаног сектора (Извор: Елаборација аутора на основу карте коришћења земљишта са Сл. 11)

Трећа деоница смештена је на додиру рубног дела Алексиначке котлине и Мезграјског сужења. Ограничена је наредном речном стационом: 72 km + 513 m до 73 km + 169 m. Нешто ужа алувијална равна лимитирана је са леве стране обронцима планине Мали Јастребац, а са десне стране узвишењем Осоја (Сл. 12). На овој деоници река Јужна Морава тече ближе левој ивици алувијалне равни на надморској висини од 172 m. У склопу сектора налази се један добро диференцирани меандар (M4) у који се са леве стране улива периодични ток Дреновачки поток. Око 2,5 km узводније налази се ушће Топоничке реке са десне стране. Административно, простор који захвата истраживани сектор III подељен је између општина Алексинац и Црвени Крст (која се налази у склопу Града Ниша). Катастарски гледано сектор

припада атару три насеља: Грејач, Велики Дреновац и Доња Трнава. Са десне стране лоциран је локални пут Доња Трнава-Тешица, док је са леве стране регионални пут Алексинац-Ниш и железничка пруга Београд-Ниш (Сл. 12). У контексту вегетације и коришћења земљишта могу се издвојити две важне групе: уз конвексну страну тока лоцирана је серија шумско-жбунасте вегетације (на простору новоформираног спруда. Оно што је посебно важно напоменути је да у самој меандарској кривини постоји активно експлоатационо подручје песка и шљунка са простора алувијалне равни тока Јужне Мораве, које може имати у будућности значајан ефекат на појаве поплава или усецања нових речних рукаваца.



Сл. 13. Локалне географске карактеристике и начин коришћења земљишта дуж тока Јужне Мораве на деоници око четвртог истраживачког сектора (C4 – M5, M6 и M7)
(Извор: Елаборација аутора на основу карте коришћења земљишта са Сл. 11)

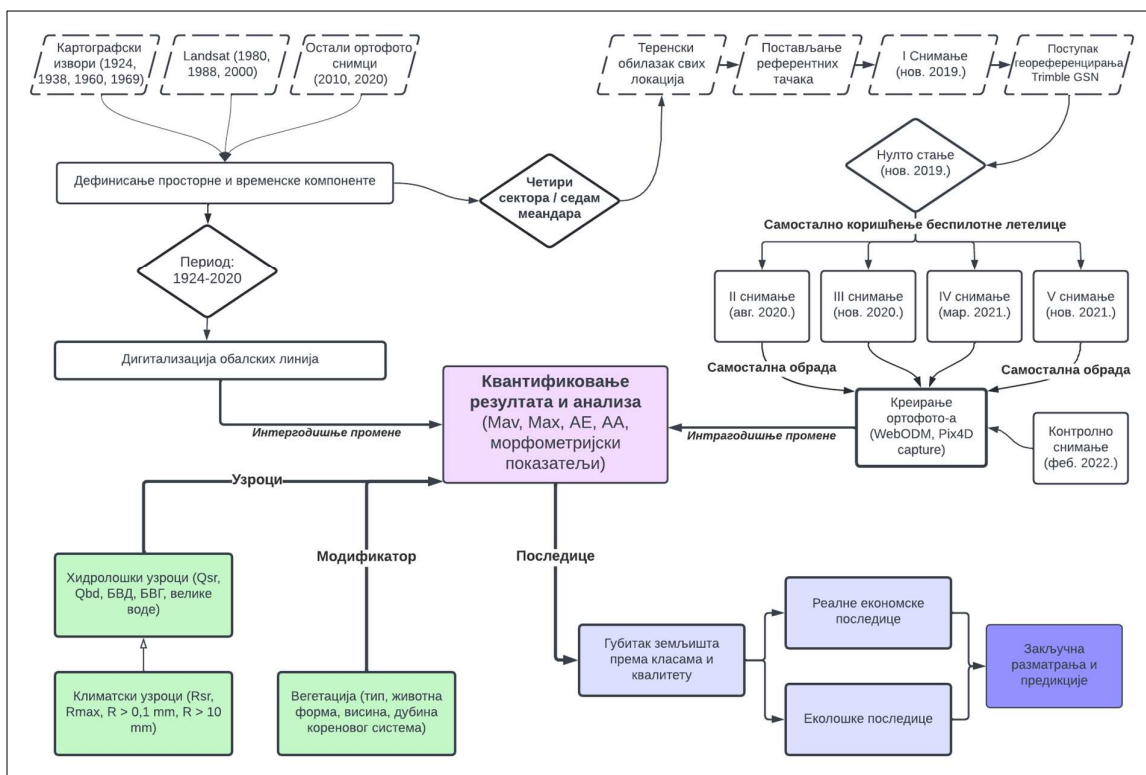
Истраживачки сектор IV лоциран је у оквиру речне стационаже од 114 km + 053 m до 115 km + 569 m. Представља најјужнији део мале Брестовачке котлине која је смештена између Корвинградског на северу и Печењевачког сужења на југу. Реч је о врло нестабилној деоници речног тока о чему сведочи велики број меандарских ожиљака и старих напуштених речних корита. Широка алувијална равна простире се између падина Бабичке Горе са десне стране и узвишења Добре Главе са леве. У физичко-географском контексту најважнији елемент представља ушће реке Јабланице које се налази у оквиру испитиване деонице (Сл. 13). У свом доњем делу тока, Јабланица се такође одликује латералним померањем речног корита и деградацијом обала (Николић, 2019). Према положају трасе из 2021. године могуће је издвојити три меандра (M5, M6 и M7). Административно деоница припада Граду Лесковцу, односно катастарској општини Грданица. Као и код ранијих деоница потребно је напоменути

да по начину коришћења земљишта доминирају са десне стране тока пољопривредне површине, а са леве стране шумско-жбунаста обалска вегетација. У овом сектору потребно је назначити постојање врло активне експлоатације шљунка и песка која се протеже целим левим обалским појасом до ушћа реке Јабланице (Сл. 13).

4. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Основу проучавања еволутивних карактеристика и рецентног стања морфодинамике речног тока представља формирање базе података и примена основних научних метода и специфичних техника за проучавање процеса ерозије обала и латералног померања речног тока. Процес ерозије обала важна је компонента у еволуцији речне морфологије и његов адекватан мониторинг може пружити значајне податке о интензитету морфолошких промена и динамике. Проучавање истраживаног процеса представља комплексан задатак због различитих фактора који условљавају морфолошке промене елемената флувијалног рељефа. У вези са тим је велики број различитих метода истакнут је кроз бројне научне студије, а у зависности од циља и сврхе спроведеног истраживања или елабората зависиће и избор најадекватнијих методолошких поступака. Осим употребе општих квалитативних и квантитативних метода, у раду су коришћени и други методи који имају широку примену у многим научним дисциплинама (усклађени и интегрисани у географску тематику), као и специфични методи карактеристични за физичко-географска, и посебно хидролошка истраживања.

Прва фаза рада на докторској дисертацији обухватила је формирање плана истраживања на основу предлога пројекта, извора података, одабраних метода и очекиваних резултата. У ту сврху направљен је *Flow chart* (план истраживања) (Сл. 14) који визуелно представља све спроведене активности приликом израде докторске дисертације.



Сл. 14. „Flow chart“ истраживачког процеса

За потребе проучавања интензитета ерозије обала развијен је велики број просторно-временских метода. С обзиром на чињеницу да се све појаве и процеси одвијају у простору и времену, географско-еволутивни аспект проучавања ове тематике је неминован. Речни токови су динамични системи па стога права документација о њиховој структури и функцији захтева континуиране просторно-временске податке (Lane et al., 2010). Уочавање просторне динамике, али и узрочно-последичних релација које постоје у домену процеса ерозије обала, срж је примене општег географског метода истраживања. Од великог значаја за презентацију

података и резултата истраживања је *картографски метод*, који омогућава сагледавање промена вредности показатеља (нпр. положаја обала) кроз одређене временске периоде, док са друге стране даје могућност морфометрисања картографских прилога, а тиме и добијање података од важности. Картографски метод ће се имплементирати коришћењем ГИС софтвера и његових бројних алата.

У наставку, поред јасно дефинисане временске компоненте истраживања, коришћење основних и специфичних метода, процедура и техника груписано је у три велике целине које касније покривају најважнија поглавља у оквиру резултата истраживања и дискусије: методе за проучавање процеса латералног померања речног тока и ерозије обала (уз наглашен значај даљинске детекције и ГИС-а), методе за проучавање узрока који интензивирају/успоравају процес ерозије обала и група метода чије коришћење омогућава истраживања последица поменутих процеса.

4.1. Извори података и временска димензија истраживачког поступка (интергодишњи период)

Временски оквир истраживања условљен је и дефинисан доступношћу и адекватношћу података о положају тока Јужне Мораве током последњих 100 година. Основни предуслов за почетак истраживања тематике латералног померања речног тока у дужим временским интервалима представља постојање детаљне и адекватне картографске литературе дефинисаног простора истраживања. Jautzu и сар. (2020) указују да се морфолошке измене речних обала могу идентификовати и детерминисати на основу широке базе података, резултата научних студија и пројеката, ортофото снимака, историјских и савремених картографских прилога, итд. Приликом избора одређеног извора литературе од посебне важности је степен генерализације карте, односно релевантна приказаност објекта који представља предмет проучавања. Такође, од значаја је и сагледавање типа пројекције и координатног система у којем је карта израђена, како би се на правилан начин могла прилагодити раду у различитим ГИС софтверима.

Карта Слива Јужне Мораве израђена у размери 1:300000 из 1881. године представља прву карту публиковану од стране Војногеографског института, настала као резултат њиховог рада. „*Генералштабна карта Краљевине Србије*“ из 1893. и 1894. године обухвата старе топографске карте формиране у размери 1:75000 (међу којима се налази и део слива Јужне Мораве) (Главни Генералштаб Географско одељење, 189?). Карте су израђене за административне и војне потребе. Посебан значај карте огледа се у могућностима за сазнање о географским одликама простора Србије из периода краја 19. века (Вујевић, 1928). На основу доступности листова и познатих координата доњи ток Јужне Мораве дигитализован је, а добијени подаци вредни су за прелиминарно сагледавање промена тока Јужне Мораве крајем 19. века. За потребе истраживања коришћени су листови: 3.7. Алексинац (Сл. 15), И.7. Бања Алексиначка, И.8. Ниш и И.9. Лесковац. Одређене непрецизности које постоје и традиционална коришћена методологија за потребе картирања утицала је на одлуку да поменути извор литературе не буде коришћен приликом одређивања интензитета процеса латералног померања речног тока и ерозије обала. Међутим, због важности сазнања о историјским и еволутивним тенденцијама у положају речног корита квалитативно је коришћен и поменути прилог.



Сл. 15. Део речног тока Јужне Мораве на сектору Алексинач – Моравски Бујмир из 1894. године
(Извор: Главни Генералштаб Географско одељење, 189?, лист 3.7. Алексинач)

Као базни и најрелевантнији извор података важан за дефинисање временског оквира истраживања процеса ерозије обала коришћене су карте „Секције за испитивање реке Мораве“ из 1924. године. Израду и публикавање карата извршила је Генерална дирекција вода под вођством инжењера Л. Бернацког. Карте су израђене у размери 1:25000 (Листови 1-23) (Таб. 5). Генерална дирекција вода је још током 1922. године отпочела истраживања река Велике, Западне и Јужне Мораве у циљу прикупљања релевантних и научних података о режиму и топографским особинама поменутих токова. Топографски подаци прикупљени су на терену помоћу снимања, коришћењем тада уобичајених метода геодезије. Поред топографских података прикупљени су подаци и о водном режиму како би се осавременила и допунила претходно објављена публикација „Привремен попис водених снага у Краљевини СХС“. Ангажовани експерти су били у обавези да прикупе податке за техничко решење везе Дунава са Егејским Морем, преко Мораве и Вардара. У складу са тим су, осим Јужне Мораве, извршена снимања Биначке Мораве и Прешевске Моравице како би се пронашли најоптималнији услови за евентуално повезивање Црноморског и Егејског слива. Снимања су трајала у периоду од 1922-1924. године и била су везана за тачке државне триангулације. Од основних елемената уцртаних на карти посебно је издвојено корито реке Јужне Мораве, ушћа свих релевантних притока, изохипсе, врсте земљишта, итд. Поред тога за Јужну и Биначку Мораву уцртано је 145 попречних профила (Генерална дирекција вода, 1924; Вујевић, 1928).

Топографске карте израђене у размери 1:25000 од стране Војногеографског института (ВГИ) представљају наредни релевантни извор података коришћен за праћење морфодинамике тока Јужне Мораве током 20. века (Таб. 5). Коришћен је и већи број листова топографске карте који покривају ток Јужне Мораве, од састава Биначке Мораве и Прешевске Моравице до Сталаћа (листови Крушевац, Алексинач, Ниш, Лесковац, Власотинце, Куманово). Сви листови су урађени у Гаус-Кригеровој пројекцији и на основу Беселовог елипсоида у периоду 1969-1972. године, у зависности од дела тока Јужне Мораве. Сви листови који покривају четири репрезентативна сектора на којима су рађена детаљнија мерења у дисертацији формирану су на основу стања из 1969. године. На основу истог геодетског премера започетог након Другог светског рата, израђена је и топографска карта у размери 1:50000 урађена према стању из 1983. године, а објављена у периоду 1983-1985. године. Информације које су потребне у овој фази геореференцирања (име пројекције и датум, познате географске или правоугаоне координате неколико тачака) обично су одштампане на картама укључујући и време објаве саме карте.

Посебни значај истраживању ерозије обала и латералног померања тока Јужне Мораве пружају *катастарски планови* Одељења катастра и државних добара из 1938. године. Исти су допуњени подацима новог премера 1960. године, те стога пружају одличан извор информација приликом сагледавања варијација у положају речног корита. Поменути планови урађени су у размери 1:2500. Посебну важност добија њихова употреба приликом анализе економских последица и губитка земљишта с обзиром на могућност уочавања положаја парцела. У поменути сврху искоришћени су листови који покривају катастарске општине Тешица (2), Дражевац, Моравски Бујмир и Алексиначки Бујмир, Нозрина, Катун, Велики Дреновац и Грејач (општина Алексинац), Доња Трнава (Ниш) и Грданица (Лесковац). На простору катастарске општине Грданица не постоји премер и катастарски план из 1938. године, већ је коришћен само други из 1960. године (Таб. 5).

Осим поменутих карата и планова у истраживању морфолошке еволуције речног тока коришћени су и *ортофото снимци* преузети са портала Републичког геодетског завода из 2010. године како би се добио положај обала реке Јужне Мораве у датим временским пресецима. У циљу утврђивања унутаргодишње вредности интензитета процеса у савременом периоду коришћене су и подлоге топографске површине преузете из програма *Google Earth*. У зависности од доступних снимака као извор података прегледани су снимци настали у распону од 2003. до 2021. године. У циљу детаљније анализе морфодинамике речног тока на крају 20. века коришћени су и *Landsat*-ови снимци из 1988. и 2000. године (Таб. 5). Сателитски снимци имају великог значаја у интегрисању теренских посматрања и омогућавају ефикасну идентификацију карактеристика речних токова и флувијалних облика. Оваква техника је посебно погодна за релативно велике, алувијалне реке, с обзиром на ограничења у вези са грешкама које настају приликом тумачења мањих облика директно са топографских карти.

Таб. 5. Основни извори података коришћени за потребе сагледавања интергодишњих промена

| Извор података | Година | Тип података | Размера |
|--------------------------------------|------------|------------------------------|-----------|
| Генералштабна карта Краљевине Србије | 1893. | квалитативни | 1:75000 |
| Карте секције за испитивање Мораве | 1924. | квалитативни и квантитативни | 1:25000 |
| Катастарска карта | 1938. | квалитативни и квантитативни | 1:2500 |
| Катастарска карта | 1960. | квалитативни и квантитативни | 1:2500 |
| Топографска карта (ВГИ) | 1969-1972. | квалитативни и квантитативни | 1:25000 |
| Топографска карта (ВГИ) | 1983-1985. | квалитативни | 1:50000 |
| Landsat TM | 1988. | квантитативни | - |
| Landsat TM | 2000. | квантитативни | - |
| Ортофото снимци (РГЗ) | 2007-2010. | квалитативни и квантитативни | GSD 10 cm |
| Google Earth | 2003-2021. | квалитативни и квантитативни | - |

На основу издвојених извора података, дефинисан је временски оквир у којем ће се квалитативно и квантитативно сагледавати морфодинамика процеса латералног померања обала Јужне Мораве. У питању је 97-годишњи период (1924-2020), са могућношћу квалитативног истраживања варијација у промени положаја речног корита и у периоду 1894-1924. година. Праћење динамике процеса ерозије обала Јужне Мораве извршено је посебно за сваки међу-период у зависности од сектора: 1924-1938., 1939-1960., 1961-1969; 1970-1988., 1989-2000; 2001-2010. и 2011-2021. година. Због постојања могућности коришћења софтвера *Google Earth* и његове технике „*Historical Imagery*“ омогућено је врло детаљно истраживање промена у последњих 15 година. У ту сврху посебно су обрађени периоди 2003-2011., 2011-

2013., 2013-2016., 2016-2017., 2017-2018., 2018-2019., 2019-2020. и 2020-2021. година (Таб. 5). Наравно, у зависности од одабраног сектора и доступности снимака за тражену деоницу може се јавити редукција у броју коришћених периода (нпр. са девет на шест на истраживачком сектору IV).

Морфолошки развој обала истраживан је у појединим радовима (Yao et al., 2011; Langović et al., 2020; Yang et al., 2018; Bernier et al., 2021) у дефинисаним временским периодима до 100 година, у зависности од доступности података. Оптимални временски интервал за проучавање поменутог процеса у научној литератури није дефинисан, али подразумева минимални циклус од 25 година како би се све промене јасно манифестовале. Према томе, основна база и критеријум за проучавање истраживане проблематике испуњен је постојањем довољно дугог временског оквира.

4.2. Методе за проучавање латералног померања и ерозије обала

Проучавање процеса ерозије речних обала захтева примену различитих техника и метода које се могу категоризовати у неколико група, у зависности од етапе истраживачког поступка. Пре добијања финалних резултата и утврђивања узрока и последица потврђеног интензитета процеса, потребно је варијабилност истог сагледати са историјског и рецентног аспекта. Стога, издвојене су три категорије техника истраживања које нису изоловане већ се комбинују кроз различите фазе студије, од прикупљања података, њихове систематизације, обраде до финалног добијања резултата. Оне укључују групу метода теренских истраживања и даљинске детекције, технике примене картографског метода и софтвера ГИС и групу квантитативно-емпиријских метода. У наставку објашњене су све три категорије: генерално кроз указивање на значај њиховог коришћења у физичко-географским истраживањима; и конкретно кроз примену у поступку истраживања интензитета и динамике процеса латералног померања и ерозије обала Јужне Мораве у историјским и рецентним временским оквирима.

4.2.1. Поступак и етапе теренског истраживања рецентног стања обала Јужне Мораве

У циљу сагледавања рецентних промена интензитета ерозије обала и латералног померања тока, као и касније анализе узрока који су условили поменуте процесе и последица до којих су довеле, примењене су различите методе груписане у оквиру теренских техника и техника даљинске детекције. Категорија теренских истраживања обухватала је неколико типова њиховог спровођења. Превасходно су укључиле коришћење погодности даљинске детекције и снимање терена. Примена даљинске детекције у сврху научних истраживања омогућава савремено и детаљно приступање проблематици просторних изучавања. За разлику од анализе картографских извора и њиховог коришћења који се најчешће сврставају у кабинетске групе метода, даљинска детекција комбинује оба аспекта, јер захтева са једне стране теренско истраживање ради прикупљања адекватних података, а са друге стране њихову каснију обраду. Употреба снимака и фотографија добијених техникама даљинске детекције омогућава анализу и проучавање просторно-временских промена истраживаних параметара. Стога је препозната њена примена у географским истраживањима, посебно од друге деценије 21. века, што је видљиво кроз бројне научне студије (Daboјani et al., 2014; Kumar et al., 2017; Драгићевић et al., 2017a).

У физичко-географским истраживањима се сателитски и ортофото снимци користе приликом проучавања процеса који се одвијају на површини Земље, као што су кретање ледника, процес вулканизма, различити геоморфолошки процеси, промене вегетационог покривача, итд. (Chakrabarti et al., 2001; Hughes et al., 2006; Jung et al., 2010; Манојловић & Драгићевић, 2021). Једна од главних карактеристика употребе даљинске детекције је њена способност генерисања велике количине просторних информација (Lovric & Tosić, 2016). Најсавременија етапа развоја ових метода представља коришћење стабилних беспилотних летелица - дрона у поступку снимања различитих локалитета. Тиме су омогућена прецизна мерења Земљине површине,

која су додатно унапредила поступак квантификације интензитета одређених физичко-географских процеса.

Истраживање рецентних (унутаргодишњих, сезонских) промена положаја речних обала Јужне Мораве, за потребе ове дисертације, започето је у другој половини 2019. године, када су извршене припреме које су укључивале анализу материјала и документације, првобитни излазак на терен у циљу правилног и адекватног одабира конкретних сектора тока Јужне Мораве, обуку за коришћење беспилотне летелице. Стога, поступак истраживања рецентног стања обалског појаса Јужне Мораве конципиран је у неколико фаза:

1. преглед и анализа релевантне документације, припреме за терен и избор четири истраживана сектора (иницијална фаза);
2. постављање референтних тачака за потребе тачног геореференцирања;
3. снимања терена коришћењем беспилотне летелице;
4. обрада добијених фотографија и формирање ортофото приказа;
5. финална обрада за потребе даљег коришћења.

У *иницијалној фази* израде докторске дисертације, на основу бројних извора литературе, извршено је издвајање референтних сектора на којима је у рецентним оквирима присутан процес ерозије обала по раније објашњеним критеријумима. Прелиминарна фаза обухватила је избор девет меандарских сектора, након чега је изведено прво теренско истраживање са циљем сагледавања привлачних/одбијајућих фактора за финални избор четири референтна сектора који ће бити обухваћени у овом истраживању. Након теренског обиласка свих локалитета, позиционираних у делу тока Јужне Мораве од ушћа Власине до Сталаћке клисуре, извршен је одабир. Фактори који су били пресудни приликом избора су уочене морфолошке промене обала до савременог периода, дужина деградираних обала затечене на терену, уређење и коришћење обалског појаса у циљу каснијег објашњавања последица, као и фактори попут антропогених активности и приступачности терена.

Наредна фаза укључила је *прво снимање* утврђених локација које је извршено током новембра 2019. године са циљем добијања нултог или почетног стања положаја обала Јужне Мораве за потребе испитивања интрагодишње и сезонске варијабилности померања обала. Међутим, пре обављеног снимања, извршено је постављање 24 **референтне тачке** на територији четири одабрана сектора. Њихово постављање извршено је како би се надоместио недостатак одређених упечатљивих објеката (антропогених творевина или истакнутих дрвећа) који би могли послужити као репрезентативне тачке. Референте су представљале беле квадратне плоче од лесонита, димензија 30 x 30 cm, које су постављене са обе стране речног корита. На сва четири истраживана сектора постављено је по шест референтата (по три са леве и три са десне стране (Сл. 16)). Њихова позиција на обали учвршћена је дугачким металним пиновима (димензија 7 x 200 mm) у циљу постизања пуне стабилности и одрживости плоча до момента извршених снимања. За потребе стварања најрепрезентативнијих услова терена примењена су одређена правила приликом постављања референтних тачака. Наиме, оне су постављене на максималној удаљености од обалске линије од 10 m (како би са сигурношћу ушле у пројектовану трасу снимања), на отвореној површини, односно делу обале са зелаством вегетацијом и ниским растињем (како би се створили оптимални услови за њихово лакше уочавање на снимцима). Уз помоћ мобилних апликација за сваку репрезентативну тачку извршено је тачно GPS позиционирање.

Након постављених референтних тачака видљивих из ваздушног простора приступило се снимању терена коришћењем беспилотне летелице (дрона) типа Phantom 4 pro. Снимак за истраживачке секторе I и II одговара стању 07. новембра 2019. године, а секторе III и IV, 14 новембра 2019. године. Због веће површине истраживаног терена и географске удаљености меандара, снимање је извршено парцијално. Како процедура употребе дрона налаже, пре узлетања сагледани су тренутни физичко-географски услови испитиваног терена у циљу избегавања последица механичког оштећења летелице или добијања непотпуних и нетачних

података. Мониторинг терена обављен је по релативно облачним данима, без присуства падавина. Снимања су вршена са висине од 45 m по претходно испланирај рути, односно коришћен је плански поступак употребе дрона (коришћењем апликације Pix4D capture). За разлику од мануелног типа снимања, за овакав тип истраживања предности планских снимања су изразите. Њихово функционисање заснива се на креирању руте снимања на основу одређивања положаја, типа и величине полигона над сателитским снимком терена, а у границама истраживаног подручја. Након конструисања руте, потребно је дефинисати висину лета и преклапање фотографија према висини и ширини (у зависности од прецизности која се жели постићи). Неке од основних опција које су примењене су велика брзина летења, вертикални угао снимања и умерено до висок ниво преклапања снимака, у циљу што сигурнијег и сврсисходнијег резултата.



Сл. 16. Постављање референтних плоча за потребе снимања терена: истраживачки сектор II, T8 (слика лево) и истраживачки сектор III, T14 (слика десно)

Извршеним снимањима добијен је велики број фотографија које су касније софтверски обрађене чиме су добијени комплетни ортофото снимци четири истраживачка сектора. Уједно су и повезани са координатама 24 референтне тачке уочене на терену. Међутим, након завршетка ове фазе уочена су одређена одступања која су износила у просеку од 2,2 m (M1, C1) до чак 16,3 m (M5, C4). Уочена одступања у рангу M1 представљају очекиване вредности, док су регистрована одступања на M5 последица погрешно утврђеног референта на снимку. Снимање датог сектора извршено је седам дана након постављања референтне тачке, те је терен околно измењен под утицајем људске активности (велика количина отпада беле боје остављена је у том појасу, што је утицало на немогућност позиционирања тачне локације плоче). Резолуција обрађених ортофото снимака износила је 4 cm/pixel.

За предвиђени тип истраживања променљивости положаја речне обале, одступања у овом вредносном рангу представљају значајну неправилност (Simon, et al 2016). Из тог разлога је неколико дана касније извршено прецизно геореференцирање добијеног ортофото снимка. У ту сврху, уз техничку и управљачку помоћ геодета из предузећа Livona doo, извршено је мерење оријентационих тачака уз помоћ геодетског уређаја Trimble GNSS. Његовом употребом добијена је центиметарска тачност што је омогућило даље коришћење добијених ортофото снимака (резолуција 3,8 cm/pixel) (Таб. 6). Просечна одступања координата на оријентационим тачкама након (до)геореференцирања износе мање од једног пиксела, односно тачност координата дигитализованих на ортофото снимку износила је око 4 cm. Удаљавањем од зоне оријентационих тачака тачност опада, што је стандардна спецификација за примењену методу. Из тог разлога је било важно поставити референтне тачке на дефинисаној удаљености од речне обале. Финално, очекивана тачност добијених ортофото снимака износи до 8 cm хоризонтално, односно 12 cm вертикално. Разлика између координата са ортофото снимка који је референциран након директног снимања, у односу на геодетски

референциран ортофото снимак, износи у просеку 6,5 m хоризонтално и 25 m вертикално (укључујући и референт који је непрецизно одређен) (Сл. 17). Подаци у Таб. 6 управо указују на неопходност друге фазе првобитног снимања терена и примене прецизнијег геодетског премера. Важност дефинисаних оријентационих тачака и добијеног нултог стања речних обала посебно се испољава кроз сва наредна снимања и обраду снимака. Снимак је израђен у Гаус Кригеровој пројекцији, зони 7 и правоуглом координатном систему.



Сл. 17. Положај референтних тачака на истраживачком сектору I и његово преклапање са google тарот (десно) и компарација исечака ортофото-а пре поступка прецизног геореференцирања (лево)

Таб. 6. Просечно одступање координата референтних тачака пре и након вршења геореференцирања уређајем Trimble GNSS

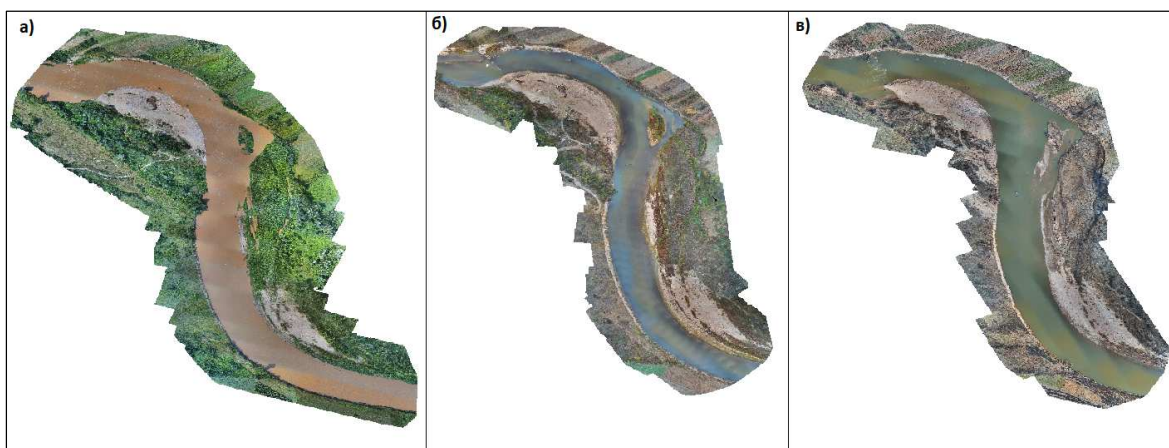
| Просечно 2D одступање тачака пре и после геореференцирања (m) | X | Y | Z |
|---|-------|-------|-------|
| Сектор 3 (M4) | -0,32 | -6,54 | 25,53 |
| Просечно за сва четири сектора | -2,82 | -8,06 | 16,27 |

Друго снимање проучаваних сектора извршено је у периоду 08-10. августа 2020. године коришћењем дрона марке *Parrot ANAFI Work*. Као и током првог интервала, као припрема мониторинга првобитно је картирана и испланирана путања планског типа летења за сва четири сектора у програму *Pix4D capture* који подржава дрон поменуте марке. Снимање је вршено са висине од 45 m (Сектор I и II), односно 40 m (Сектори III и IV), док је проценат преклапања снимака постављен на умерено-висок. Мониторинг је извршен при пуној дневној светлости, сунчаним и потпуно ведрим данима, без присуства ветра. Приликом обраде ортофото снимака коришћене су исте референтне тачке регистроване раније. Након снимања генерисање и обрада завршних снимака извршено је коришћењем софтвера *WebODM*.

Треће снимање извршено је у периоду 20-21. новембра 2020. године, док је **четврто снимање** реализовано 08. марта 2021. године. Оба снимања извршена су употребом исте летелице као и приликом другог снимања, док је обрада завршних снимака извршена коришћењем софтвера *Pix4D capture*. Код свих сектора у оба периода проматрање терена је извршено са висине од 45 m, током пуног дана и најчешће облачном времену. Приликом трећег снимања Сектора IV, климатске прилике биле су отежавајуће (атмосферске падавине и већа брзина ветра), па у рубним деловима обрађених снимака постоје одређене неправилности (у смислу неколико пута насилног прекидања лета). Ипак, оне нису обухватиле најзначајнији део, односно положај деградираних обала на три меандра поменутог сектора. У истом периоду извршено је и мануелно снимање деградираних обала Јужне Мораве на посматраним секторима у циљу добијања јасних фотографских приказа.

Током септембра исте године извршено је једно **непотпуно снимање**, које је обухватило само сектор IV, док су остала три сектора снимљена 14. новембра 2021. године. Детектовање и

снимање извршено је коришћењем летелице DJI Air 2 и коришћењем компатибилне апликације за планско снимање терена. Услови за снимање су били идеални, али је квалитет добијених снимака лошији у односу на претходне (због слабије резолуције и могућности камере поменутог дрона). За ову врсту анализа, односно диференцијацију обалских линија са снимака, квалитет фотографије, њена боја и резолуција није утицала на каснија тумачења. На тај начин је компетиран период у трајању од две године који је искоришћен за проучавање сезоналности процеса померања обала и флувијалне ерозије. Ипак, 09. фебруара 2022. године, поновним коришћењем летелице *Parrot Anafi Work*, при променљивим временским условима (облачност и ветар), извршено је **снимање** меандра на секторима I и II. Иако је тада поступак израде дисертације био у одмаклој фази, поменути мониторинг реализован је као контролна провера процеса ерозије обала на простору на којем је претходним путем утврђен најјачи интензитет процеса. **Обрада** добијених фотографија у свим наведеним периодима извршена је коришћењем већ поменутих софтвера (Сл. 18).



Сл. 18. Обрађени ортофото снимци истраживачког сектора I у три временска пресека – а) август 2020. године, б) новембар 2020. године, в) март 2021. године

Таб. 7. Општи подаци о реализованим снимањима терена

| Сектор | Редни број лета | Број слика | Просторна резолуција (cm/pix) | Површина (ha) |
|--------|-----------------|------------|-------------------------------|---------------|
| I | 1 | 450 | 3,7 | 31,2 |
| | 2 | 297 | 2,19 | 25,02 |
| | 3 | 376 | 1,92 | 19,37 |
| | 4 | 339 | 1,86 | 18,2 |
| | 5 | 352 | 1,91 | 21,3 |
| II | 1 | 591 | 3,1 | 36,12 |
| | 2 | 515 | 2,2 | 30,15 |
| | 3 | 437 | 1,9 | 27,22 |
| | 4 | 346 | 1,9 | 24,48 |
| | 5 | 366 | 1,8 | 25,11 |
| III | 1 | 301 | 3,5 | 19,52 |
| | 2 | 297 | 2,3 | 18,12 |
| | 3 | 204 | 1,93 | 13,01 |
| | 4 | 177 | 1,89 | 12,63 |
| | 5 | 201 | 1,9 | 13,00 |
| IV | 1 | 766 | 3,9 | 51,23 |
| | 2 | 748 | 2,5 | 50,12 |
| | 3 | 498 | 2,1 | 30,15 |
| | 4 | 422 | 1,8 | 27,11 |
| | 5 | 531 | 1,9 | 33,51 |

Број регистрованих фотографија разликовао се по секторима, али и по временским периодима, што зависи пре свега од испланиране трасе пута (Таб. 7). Највише слика регистровано је на истраживачком сектору IV, од 422 до 748, док је најмањи обухват представљао сектор III од 177 до 301 за површину која се кретала од 12,5 до 19,52 ha. Диспаритет у броју фотографија јавља се као последица потребе обухвата веће површине. Просторна резолуција кретала се у распону од 1,9 до 3,7 cm/px. Поред ортофото снимака добијених на основу извршених снимања, погодности коришћења софтвера за обраду су и израда дигиталних модела површина (DSM). Они се могу касније користити за различите сврхе јер садрже податке о висини свих објеката видљивих на снимку (вегетација, антропогене творевине, терен, итд.).

4.2.2. Поступак и методологија дигитализације обалских линија

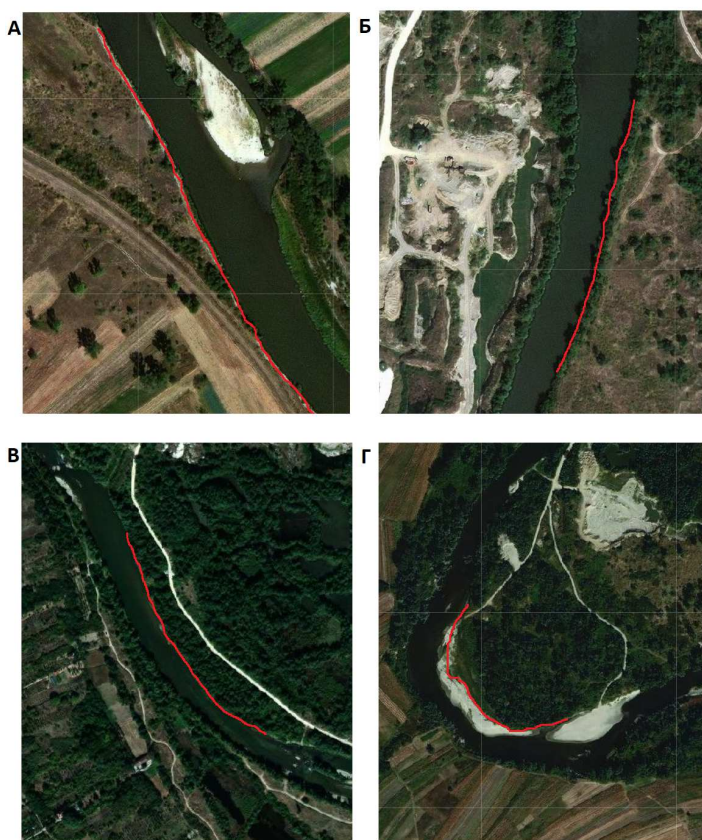
Коришћење различитих извора података захтева претходно утврђивање методологије по којој ће се обављати дигитализација обалских линија. С обзиром на различитост картографских подлога коришћених у овој студији (топографске карте, планови, ортофото снимци), пре почетка процеса дигитализације потребно је установити правила која ће бити апликативна кроз процес картирања обала. Дигитализација леве и десне обале Јужне Мораве извршена је применом ГИС софтвера QGIS, коришћењем векторских линија понаособ за леву и десну обалску линију.

У савременој литератури дефинисано је неколико различитих техника за издвајање обалских линија. Све оне су у основи исте, а једина разлика која се јавља у вези је са одређивањем граничне линије код обала обрастим густом вегетацијом. Tieggs & Pohl (2005) дефинишу речни канал као издужено подручје где ток постоји са довољном учесталошћу, снагом и трајањем да спречи присуство вегетације (у процентуалном уделу од 90%). Различити локални физичко-географски услови терена дуж обалског појаса Јужне Мораве утицали су на примену адекватне методологије за идентификовање положаја обалских линија (Winterbottom & Gilvear, 2000; Richard et al., 2005; Hughes et al., 2006; Giardino & Lee, 2011; Dragičević et al., 2017; Langović, 2020). Основа за коришћење ове методологије може се наћи у раду Gurnell & Winterbottom (1999). Методологија се заснива на мануелној дигитализацији леве и десне обалске линије коришћењем алатке за дигитализацију која је доступна у свим верзијама ГИС софтвера. Приликом дигитализовања са топографских карата процес подразумева праћење обалских линија које су на картама лако уочљиве. Међутим, код извлачења обалских линија са ортофото снимака постоје одређена правила која је потребно дефинисати како би добијени подаци били најрелевантнији. У зависности од локалних вегетационих услова могу се издвојити три основна принципа коришћења методологије:

- код обалског појаса који је прекривен ниском зељастом и травнатом вегетацијом или дуж обала код којих су лоциране пољопривредне обрадиве површине, обалска линија тока јасно је уочљива и креће се ивицом деградираних обала (Сл. 19А);
- код обалског појаса где се дрвеће надвија изнад саме обале било у виду индивидуалних врста или у облику појасних дрвенастих заједница, линија је детерминисана тако да пролази кроз центар крошњи (Сл. 19Б); иста методологија примењена је и код постојања густог шумског комплекса дуж обале реке (Сл. 19В);
- на локалитетима појаве таложених речног наноса у виду спрудова, односно на позицијама на којима су водостаји нижи од просечних вредности, обалска линија је детерминисана као гранична између појаса формиране вегетације и пешчаног дела спруда (Сл. 19Г) (Langović, 2020).

Једна од главних потешкоћа приликом дигитализације линије речне обале јавља се код сектора чије су обале песковито-шљунковите, односно на деоницама окарактерисаним као разуђени тип, за разлику од форми дефинисаних као праве или меандрирајуће. У том контексту, када река има више рукаваца потребно је дефинисати и издвојити главни (матични) део тока који и даље има највећу еродибилну снагу, у односу на секундарне рукавце настале процесом

разуђивања речне трасе. Овакав пример био је заступљен на простору истраживачког сектора IV током ранијих временских секвенци.



Сл. 19. Пример дигитализације обалске линије у односу на различите физичко-географске карактеристике обалског појаса

(А – антропогене творевине и пољопривредно земљиште дуж обалске линије; Б – појединачне дрволике јединке обалске вегетације дуж обалске линије; В – густа шумска вегетација дуж обалске линије; Г – појава спрудних акумулација дуж обалске линије)

4.2.3. Методе за квантификовање процеса латералног померања и ерозије обала

Након прикупљања информација и формирања базе података, последња фаза методолошког поступка обухвата квантификацију процеса ерозије обала и латералног померања речног корита на основу дефинисаних правила. Овакав тип метода може се сврстати у емпиријске технике, јер оне за улазне податке користе информације добијене коришћењем метода из прве две етапе истраживања. Крајњи циљ њихове примене је извођење конкретних емпиријских закључака о истраживаном процесу. Поред директног израчунавања интензитета процеса ерозије обала и латералне миграције, од изузетне важности је сагледавање основних морфометријских карактеристика речног сектора, као и специфичних квантитативних показатеља из домена физичко-географских дисциплина.

У циљу детерминисања интензитета померања речних токова, њихове морфодинамике и процеса ерозије обала, методолошки поступак подразумевао је квантификовање основних морфометријских показатеља речног тока у домену истраживаних сектора. Геометрија речних канала представља важан индикатор рецентних и будућих латералних промена те се стога може посматрати као један од битних фактора који дефинишу процес ерозије обала. У групу основних морфометријских показатеља могу се сврстати индекс синусоидности и разуђености, као и геометријски елементи меандарских кривина, итд.

Основни или базни показатељ утврђивања миграционе активности одређеног речног тока представља *индекс синусоидности* (eng. *Sinusoidal index*) реке или неког њеног сектора (SI). Развитак синусоидности речног канала тумачи се пре свега због потребе указивања на високу стопу бочне ерозије. Schumm & Khan (1972) дефинишу синусоидност речног тока као степен или ниво у којем се река удаљава од праве линије. Jansen & Nanson (2010) напомињу да је синусоидност кључни механизам на основу којих речни ток шири своје речно корито по алувијалној равни током времена. У литератури је често детерминисан на различите начине, али заједничко за дефиниције је то да се њиме жели представити степен меандрирања речног тока. У овој докторској дисертацији прихваћена је општа дефиниција која индекс синусоидности изражава као однос између актуелне дужине истраживаног сектора реке (L) и дужине праве линије која повезује почетну и крајњу тачку сектора за који се исти одређује (L_{min}) (Schumm, 1963; Schumm & Khan, 1972; Brice, 1984; Debnath et al., 2017):

$$SI = L/L_{min}$$

У студијама које у фокусу немају детаљно истраживање процеса латералног померања речног тока, поменути индекс се примењује како би се диференцирали меандрирајући сектори реке од правих. Међутим, за потребе спроведеног истраживања, на основу добијене вредности индекса синусоидности, извршена је класификација речних деоница у три групе: прави ($SI < 1,05$), синусоидни ($SI 1,05-1,5$) и меандрирајући ($SI > 1,5$). На основу свих досадашњих израчунавања индекса меандрирања и спроведених класификација установљено је да у природи не постоји стриктна граница између два типа већ се она дефинише као „градицијска или прелазна“. Синусоидност речног тока карактерисана је директном зависношћу у односу на динамику процеса природног и антропогеног порекла, нпр. интензитета и фреквенције протицаја, регулационих радова у речном кориту и обалском појасу, итд. (Ahmed & Fawzi, 2011). У бројним студијама се као синоним индекса синусоидности користи и термин *Meander ratio* (Das, 2012). Израчунавањем овог показатеља, применом компаративне анализе по временским периодима и секвенцама и графичким представљањем, на јасан начин ће бити приказане промене које су се догодиле током 97-огодишњег истраживаног периода, са посебним акцентом на динамику последњих 10 година. Такође, исти показатељ коришћен је и приликом изучавања појаве деформитета дужине деградираних обала у експерименталном периоду истраживања.

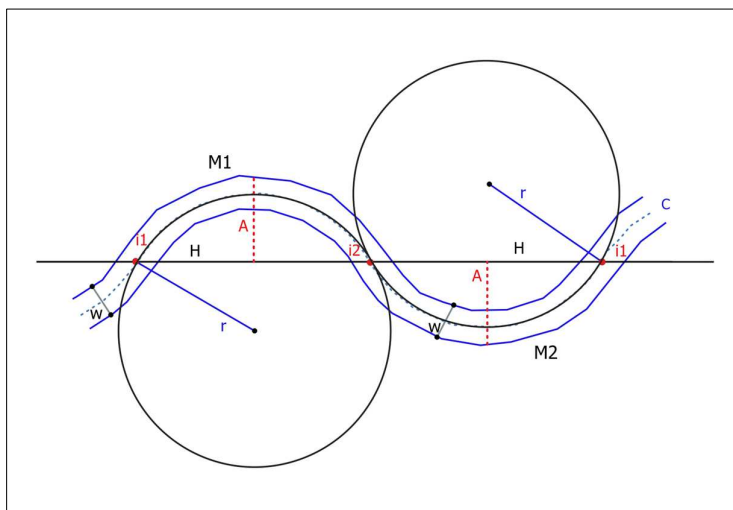
Индекс разуђености (енг. *Braided index*) (BI) такође представља један од базних показатеља коришћених приликом анализе речних канала и сагледавања латерално-миграцијске способности тока (Woodbridge et al., 2019). Најприхватљивија дефиниција подразумева да индекс разуђености представља однос између суме дужине свих секундарних речних рукаваца (L_s) и дужине реке (L) (Grescu et al., 2016):

$$BI = L_s/L$$

Индекс је коришћен за потребе издвајања разуђених деоница тока Јужне Мораве на целој дужини. Такође, приликом анализе динамике тока реке на четири истраживане деонице извршено је израчунавање показатеља BI у периодима који су се одликовали таквим типом речне трасе.

Поред два поменута индекса, под термином „*геометрија меандарских кривина*“ различити истраживачи (Leopold & Wolman, 1957; Kiss et al., 2008; Gupta, 2012; Radoane et al., 2013; Nadudvari & Czajka, 2014; Debnath et al., 2017; Bertalan et al., 2018; Bufe et al., 2019) укључују неке од параметара који квантитативно описују основне елементе меандра. У директној вези са тим, за потребе даљег истраживања одабрани су најрепрезентативнији елементи важни са становишта процеса ерозије обала и латералног померања речног тока: максимална (w_{max}) и просечна (w_{sr}) ширина речног тока, дужина тетиве меандра (H), амплитуда (A), полупречник меандра (r), таласна дужина (λ), нормална дужина меандра (L) (Сл. 20). Вредности поменутих

показатеља добијене су коришћењем различитих премера и посебних техника софтвера QGIS за рецентно стање свих седам истраживаних меандара.



Сл. 20. Основни геометријски елементи меандра (M1, M2): централна линија тока (c), ширина речног канала (w), полупречник меандарске кривине (r), тетива (H), амплитуда (A), тачка прегива (i1, i2)

Ширина речног корита у ширем контексту подразумева ширину свих рукаваца уколико је реч о разуђеном типу речног тока, односно у ужем смислу ширину главног речног корита уколико је реч о правом или меандрирајућем сектору. У сврху добијања најрепрезентативније вредности просечне ширине канала (w_{sr}) премери су урађени по претходно уцртаним нормалним профилима (Li et al., 2007) на дужину централне линије тока (на сваких 50 m). Средња вредност ширине добијена је као аритметичка средина између вредности на свим повученим профилима. Дужина тетиве меандарске кривине (H) детерминисана је на основу праве линије између две тачке прегива или инфлексијске тачке. Амплитуда (A) је представљена најдужим нормалним растојањем између тетиве меандра и спољне (деградиране) обалске линије меандра. Однос између претходна два показатеља познат је као индекс меандрирања или елиптицитет меандарске кривине (I_e) и представља један од базних показатеља за утврђивање еволутивности самог меандра (Verma et al., 2021) Меандарска кружница представља облик круга који се може уклопити у меандарску кривину, са највишом спољном границом у домену централне линије тока (c). Након њеног уцртавања израчунат је полупречник меандра чија вредност указује на фазу развоја меандра. Под појмом таласна дужина меандра (λ), подразумева се удаљеност између два узастопна врха меандра на истој обалској страни, док нормална дужина меандра (L) представља растојање по централној линији тока између две тачке прегива (Сл. 20).

Такође, у циљу успостављања условљености различитих параметара геометријских карактеристика меандара извршено је проучавање њихове зависности користећи статистичку методу *корелационих матрица*. У ту сврху као референтни показатељи постављени су у корелациони однос индекс синусоидности, максимална ширина и дужина тока.

Детерминација интензитета латералног померања речних обала базирана је на разматрању два основна параметра која описују просторно-временски образац трансформације флувијалне површине: *просечна латерална миграција* (M_{av}) и *максимална латерална миграција* (M_{max}) (Vufe et al., 2019). Њихово одређивање извршено је захваљујући коришћењу ГИС технологије. Наиме, лева и десна обалска линија сваког истраживаног сектора су након детерминисања у виду полигоналног облика преклопљене са наредним периодом ($t + 1$) што је омогућило даљи прорачун показатеља латералне миграције (Ghosh & Mukhopadhyay, 2021). Након тога, на основу повучених профила на сваких 50 m тока извршен је прорачун поменутих параметара.

Показатељ M_{av} је потребно разликовати од просечне максималне латералне миграције (AM_{max}) која представља однос између максималне вредности миграције и дужине временског оквира:

$$AM_{max} = M_{max}/t$$

Поменути показатељи израчунати су за све временске пресеке и све истраживане меандре у периоду 1924-2020. године, али и рецентном периоду истраживања (новембар 2019 – новембар 2021), након чега је урађена компаративна анализа.

Након првобитних прорачуна максималне и просечне вредности латералне миграције, у циљу детаљније анализе деградације обала, извршено је издвајање и квантификовање *области ерозије* и *акреације* коришћењем атрибутивних функција у оквиру ГИС софтвера (Tošić et al., 2014; Debnath et al., 2017; Kumar et al., 2017; Bertalan et al., 2018). У циљу истраживања ових елемената коришћена је метода Rusnak & Lehotski (2014). Прва фаза подразумевала је копирање линије која означава леву обалу из сваког временског пресека у нови слој како би се формирале полигоналне творевине са улогом представљања разлике између две позиције у сваком истраживаном периоду. Исти поступак примењен је и за десну обалску линију одређеног сектора реке. Друга фаза састојала се у примени компаративне анализе засноване на утврђеном принципу позиционирања полигона ерозије или акреације (Yao et al., 2011; Rahman et al., 2016; Dragičević et al., 2017a). Последња етапа подразумевала је квантитативно исказивање вредности површине добијених полигона, обраду и анализу података у циљу сумирања *области укупне ерозије* (AE) и *акреације* (AA) (Lovric & Tosić, 2016). Након тога, у циљу упоредивости података, израчунати су параметри *просечне годишње ерозије обала* (AE_{av}), и то кроз однос укупне ерозије и броја година.

$$AE_{av} = AE/t$$

На једнак начин је извршено израчунавање *просечне годишње акреације*. Објашњени поступак примењен је за читав истраживани период, али и појединачно по специфичним временским секвенцама.

За одређивање *запремине земљишта* које је изгубљено (SVL, m^3) (Morrissey et al., 2009; Mlouk et al., 2018) процесом ерозије обала коришћена је просечна висина обала (BH, m) помножена са површином полигона који приказује ерозију обала (AE, m^2) за сваки временски интервал:

$$SVL = A * BH$$

За секторе река на којима су у одређеним временским пресецима присутна привремена или стална речна острва извршиће се анализа у вези са њиховим настанком и обликом. Промене у броју и површини острва која су формирана у речном кориту представљају важан индикатор процеса ерозије и акумулације материјала (Sahaу et al., 2020). Вредност индекса издужења (I) добијена је из односа максималне ширине острва (B_i) и максималне дужине острва (L_i):

$$I = B_i/L_i$$

Овај показатељ је посебно важан приликом указивања на снагу процеса акреације, а упућује и на снагу речног тока и енергију реке око острва. Према класификацији, издужена и уска острва указују на веће енергетске услове у својој околини од овалних или заобљених острва (Kiss et al., 2011). У складу са поменути, могуће је идентификовати три фазе у настанку речних острва - у првој, младој фази средње-канални спрудови се развијају у острва, постају све већи, док се у зрелој фази померају ка једној од обала. Финално, у фази старости велика острва се приближавају обали реке, док се рукавац између губи, те се острво спаја са обалским појасем.

4.2.4. Методе за детерминисање последица процеса ерозије обала

Највећи значај проучаване проблематике представљен је бројним импликацијама које процес ерозије обала има на природно окружење, становништво и делатности. Из тог разлога, посебну групу метода чине оне којима се квантификују и квалитативно описују ефекти процеса ерозије

обала. Приликом проучавања последица латералног померања речног тока, вршена је обрада података повезаних са социо-економским и еколошким карактеристикама обалског појаса истраживаних сектора. Поменута методологија укључује пре свега детаљну анализу земљишног покривача и његове деградације у обалском појасу и трансформацију различитих типова коришћења земљишта другим типом.

Комплексна анализа *коришћења земљишта и његове трансформације* заснована је на постојећим ортофото снимцима и катастарским плановима из различитих временских периода (1938-2020). Због недостатка адекватних података период 1924-1938. године искључен је из анализе последица интензитета процеса. Коришћењем ГИС техника извршена је њихова дигитализација, а затим и квантификовање важних параметара укупни и просечни губици земљишта према различитим земљишним категоријама. Затим је коришћењем метода компаративне анализе извршено упоређивање укупних и просечних губитака према одређеним временским интервалима за које постоје адекватни подаци. У овом сегменту од великог значаја биле су и теренске опсервације истраживаног терена.

Поред одређивања укупног губитка земљишта, извршена је и квалитативна анализа типова земљишних покривача у обалском појасу. Она је условила потребу за груписањем типова, односно коришћење класификационог метода. Њена примена честа је у студијама сличне тематике (Lovrić & Tosić, 2016; Debnath et al., 2017; Bertalan et al., 2018; Langović et al., 2021), а његово коришћење практиковано је у ГИС-у. На основу познатих методологија истраживања, али и локалних физичко-географских и друштвено-географских услова средине, извршено је груписање терена у неколико класа: шумски и жбунасти комплекси (укључујући расуте и деградирани шуме у којима су видљиви ефекти антропогенних активности), ливадска вегетација, антропогене творевине (насељена места и инфраструктурни објекти), остало земљиште (подручје без вегетације, спрудови), речно корито и његови напуштени сегменти и пољопривредне површине (подручја са одређеним пољопривредним културама). Процес квантификације обухватио је одређивање површине сваке од издвојених класа и исказивање процентуалног учешћа класа у укупној површини према временским интервалима за које постоје тражени подаци.

Најважнији сегмент изучавања последица представља утврђивање *реалних економских губитака* на основу дефинисаних категорија земљишних површина које су деградирани процесом ерозије обала. У том контексту, извршена је процена материјалних губитака на територији општине Алексинац (прва три истраживана сектора). Исти су детерминисани на основу неколико важних показатеља: губитак пољопривредног земљишта (површина под кукурузом и пшеницом), вредност приноса одређене културе по хектару и откупна цена обе културе у датом периоду. На тај начин добијена је вредност изгубљене производње на основу годишњих приноса доминантних култура и њихових цена (Драгићевић и сар., 2015). Након процене економских губитака на вишегодишњем нивоу, квантификовани су губици током експерименталног периода. У овој фази извршена је и предикција даљег манифестовања процеса ерозије обала, као и пример потенцијалне мере (изградње обалоутврде) која би ублажила ефекте датог процеса у будућности.

Један од специфичних показатеља проучавања последица процеса ерозије обала је утврђивање *категорије обалске линије* након извршеног процеса латералног померања. Реч је о техници која се заснива на обрисима кластер анализе. Подразумева градацијско утврђивање класа деградираних обала (и на спољној и на унутрашњој страни меандра), што је значајан предуслов за даље утврђивање последица по околне земљишне површине (Gurnell et al., 2006). Њеном применом сагледава се целокупно истраживано подручје, а на основу ранга класе врши предикција будућих последица по обалски појас.

4.2.5. Методе за проучавање узорка процеса ерозије обала

С обзиром на раније објашњену различитост фактора који утичу на варијације, у интензитету процеса ерозије обала присутан је широк дијапазон метода и техника које се могу користити у ту сврху. Избор одређених процедура условљен је циљем истраживања, али и доступности адекватних података што често представља и велики недостатак у даљем продубљивању тематике узрочника процеса. Приликом анализе узрока просторно-временске динамике ерозије обала Јужне Мораве, користиће се више различитих картографских и статистичких метода.

Хидролошки фактори су најчешће препознати као изразито значајни у посматраном контексту, те су посебно наглашени и у методолошком објашњењу. Поред опште анализе водности, која укључује уочавање трендова у серији средњегодишњих, сезонских и месечних вредности протицаја, коришћене су и специфичне статистичке методе како би се на најрепрезентативнији начин хидролошки фактори могли довести у релацију са интензитетом ерозије обала. Подаци о вредностима водостаја и протицаја добијени су из Хидролошких годишњака РХМЗС-а, за неколико репрезентативних станица на току Јужне Мораве - Грделица, Корвинград и Мојсиње (1924-2021).

Применом основних статистичких процедура попут *корелације и линеарне регресије* дефинисана је међусобна условљеност промене хидролошких параметара са једне стране и утврђених промена интензитета ерозије обала и латералне миграције према свим периодима, са друге стране. У циљу процењивања утицаја хидролошких фактора на интензитет ерозије обала, неопходно је утврдити и који су конкретни екстремни утицали на исти. У складу са тим важно је извршити анализу и екстремних хидролошких прилика, кроз сагледавање вредности и фреквенције њиховог јављања током истраживаног периода.

Приликом анализе хидролошких фактора, коришћене су неке од статистичких процедура које су честе у поступку истраживања трендова и динамике хидролошких показатеља (*Mann-Kendall* и *тест хомогености*) (Langović et al., 2017; Langović, 2019) као и пар специфичних. У географским и хидролошким истраживањима водних режима и трендова важан метод представља рангирање година по водности, који нам указује на тренд у вишегодишњем режиму водности једног тока. На овај начин могуће је утврдити колико често се јављају високо водне или ниско водне године у току истраживаног периода. У ту сврху се може применити више модела, а као најрепрезентативнији за овај тип истраживања коришћен је комбиновани метод (Ђокић, 2015; Langović et al., 2017).

Аутокорелација је тип статистичке методе и представља важну процедуру приликом опсервације понављања дела података у временској серији са одређеним временским „лагом“ (померањем). Једна серија података корелише се сама са собом, тако да у сваком наредном кораку бива померена за један временски лаг. Функција аутокореалције симетрична је око нуле (Davis, 1986; Zamani et al., 2016). Доминантна „нулта аутокорелација“ означава коинциденцију у подацима једне временске серије, док се појаве периодичности сагледавају уколико постоје одређени изразити пикови (Langović et al., 2022). Циљ примењене аутокореације је утврђивање сезоналности вредности показатеља (средњегодишњих и сезонских протицаја). Добијени подаци представљају основу за касније утврђивање периодичности и уочавање изразитих пикова промене показатеља, што има за крајњи циљ израду корелационог односа према интензитету ерозије обала.

Метод спектралне анализе базиран је на Фуријеровој анализи временских серија. Употреба спектралне анализе је корисна приликом испитивања података у оквиру временске серије и као таква може се примењивати у различитим хидролошким истраживањима. Kite (1989) је анализирао временске серије водостаја и протицаја, уочавајући периодичности и могуће корелације са варијабилношћу климе, док су Lall & Mann (1995) истраживали промене нивоа воде Великог Сланог језера, коришћењем исте технике (Pavlić, 2016). Основни циљ

коришћења ове методе је трансформација временске серије података у домен фреквенције. Она се може описати као разлагање временске серије на синусоиде различите амплитуде, фазе и периоде, док се сумирајући све синусоиде, добија се иницијална временска серија. Walega и сар. (2016) су исказали да је „значај спектралне анализе у томе што „разбија“ комплексну временску серију (која се састоји од цикличних елемената) на неколико основних функционалних синусоида са специфичним таласима“. Коришћење спектралне анализе омогућило је описивање фреквенција временских серија и уочавање интересантних карактеристика као што су присуство варијација високих фреквенција и цикличност. Ултимативни циљ спектралне анализе је оцена јачине периодичне компоненте свих могућих фреквенција (Langović et al., 2022).

Протицај при потпуно испуњеном речном кориту (eng. *Bankfull discharge*) важан је показатељ за праћење интензитета ерозије обала. Представљен је нивоом воде пре него што река отпочне да плави своју алувијалну раван. Одређивање вредности и фреквенције овог показатеља омогућује његово корелисање са стопом латералне ерозије и интензитетом ерозије обала. У савременој литератури присутан је већи број техника за његово детерминисање: применом једначине Chezy-Manning, која се најрепрезентативније користи приликом сличних проучавања (Dragičević et al., 2017a) и проценом на основу доступних попречних профила корита Јужне Мораве. Још је Leopold et al., (1964) у својим истраживањима утврдио да је протицај при потпуно испуњеном кориту кореспондентан протицају који се јавља сваке 1-2 године, па се његова приближна вредност може добити и из *Pearson 3 log* расподеле максималних протицаја.

Заједно са хидролошким узроцима извршена је анализа *метеоролошких услова* слива Јужне Мораве у циљу детектовања екстремних климатских прилика које су имале највећег утицаја на проучавање истраживаног процеса. Акцент је стављен на два најважнија климатска елемената – *температуру ваздуха и количину падавина*. Коришћени су подаци већег броја метеоролошких и падавинских станица (30) за читав период истраживања (1924-2020). Као извори података коришћене су публикације Метеоролошких годишњака РХМЗС-а за период 1946-2020 године и подаци о воденом талогу (за падавине) и статистички годишњаци (за температуре) за период 1924-1945. године. Поред основне анализе климатских прилика, наглашавања екстремних догађаја и релацију са вредностима протицаја и стопа ерозије, извршена је израда изохијетних карата по истим временским интервалима.

У циљу детаљнијег проучавања утицаја локалних физичко-географских услова на интензитет ерозије обала посматраних сектора, постојећи статистички подаци допуњени су оним добијеним са инструмената постављених на терену. Током 2020. године извршено је монтирање четири *кишомера* типа *TFA Regenmesser*. Исти су постављени у оквиру домаћинстава локалних људи у селима Тешица и Грејач (општина Алексинац) и Грданица и Велика Копашница (Град Лесковац). Локално становништво прихватило је да врши свакодневна мерења у трајању од најмање годину дана, док су преузимања низова вршена приликом обављених снимања и обиласка терена. На основу добијених података о количини падавина утврдиће се однос екстремних метеоролошких и хидролошких услова, као и фактора влажности тла, у односу на интензитет процеса ерозије обала.

С обзиром на велики значај вегетационог покривача за процес ерозије обала Јужне Мораве, на основу доступних сателитских снимака и директних теренских истраживања, утврђени су доминантни *типови вегетације* и њихова висина на референтним секторима. Важност вегетационог покривача огледа се у процесу стабилизације ерозивних обала конкавних страна меандра. Као битне одреднице које ће бити укључене у анализу су: тип, животна форма биљке, величина и дубина кореновог система. Са друге стране, извршена је анализа новоформираног вегетационог покривача на спрудовима конвексних страна меандра. Такође, у циљу детаљније анализе рецентог вегетационог покривача и његовог утицаја на процес ерозије обала

коришћени су *DSM снимци* формиран и обрађени након извршених снимања проучаваних меандара.

На крају је детерминисан и *Индекс хазарда померања обала (ВЕИ)* за потребе процене стабилности обала Јужне Мораве. Овим методом се процењују и предвиђају ерозивни потенцијали речних токова. Индекс се заснива на коришћењу неколико различитих варијабли као што су: висина обале, дубина кореновог система, нагиб и покривеност вегетацијом. Првобитна фаза на одређивању тражених варијабли обухватила је теренска истраживања. Добијене вредности детерминисане су као предиктори еродибилности и претворене су у оцене ризика од 1-10 (10 као највећи ниво ризика). Распон ризика од 1 до 10 указује на веома ниске, ниске, умерене, високе, веома високе и екстремно високе вредности ризика у потенцијалној еродибилности (Das & Bhowmik, 2013). Дубина корена представља важан показатељ јер указује на стабилност и заштићеност обале од стране вегетације која је прекрива. Корење штити обалу од ерозије и чини је кохезивнијом. Уколико корење дрвећа улази дубоко у земљу и распростире се у ширину, утиче да земљиште буде чврсто и тиме резистентно на водни талас. Индекс дубине кореновог система представља однос између просечне дубине корења и висине обале, и изражава се у процентима (нпр. за дубину кореновог система од 2 m и висине обале од 4 m, индекс износи 0,5). Сличан показатељ представља и индекс густине корења (RD) који се дефинише као процентуални удео обале која је покривена и заштићена корењем (нпр. обала која је половишно покривена корењем – 50%). Нагиб обале представља нагиб „ниже обале“, односно оне која се пружа од нивоа воде при просечном средњегодишњем водостају до врха деградиране обале. Благи нагиби обала мање су подложни деградацији у поређењу са оштрим угловима. Површински вегетациони покривач представљен је процентуалним уделом вегетације формиране на истраживаној обали.

5. ОСНОВНЕ ЕВОЛУТИВНЕ И МОРФОМЕТРИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТОКА ЈУЖНЕ МОРАВЕ

Последњи сегмент, пре анализе резултата истраживања који укључују разматрање интензитета процеса ерозије обала и латералног померања на примеру четири репрезентативна меандра, обухвата кратак приказ основних морфометријских карактеристика читавог тока Јужне Мораве. У оквиру њега сагледана је варијабилност основних параметара кроз временски период, али и описан изглед рецентног стања речне трасе. Кроз обраду је указано на остале деонице на којима је постојан процес ерозије обала, а које нису ушле у референтни оквир истраживања. На крају је представљен осврт и на најважније/репрезентативније регулационе радове на току и у приобаљу Јужне Мораве.

На основу предложене опште класификације облика речних канала, објашњена методологија примењена је на читавом току Јужне Мораве према доступним подацима за 2021. годину. Као општи показатељи рецентног стања тока Јужне Мораве и његовог еволутивног развоја коришћене су дужина речне обале и индекс синсуоидности (Таб. 8).

Таб. 8. Индекс промене дужине Јужне Мораве у периоду 1924-2021. године

| Година | Дужина десне обале (km) | Дужина леве обале (km) | Просечна дужина (km) | IS |
|--------|-------------------------|------------------------|----------------------|------|
| 1924. | 247,7 | 252,1 | 249,8 | 1,76 |
| 1969. | 240,0 | 239,1 | 239,7 | 1,68 |
| 1988. | 229,5 | 228,3 | 228,9 | 1,61 |
| 2000. | 228,0 | 228,3 | 228,1 | 1,60 |
| 2016. | 232,7 | 235,9 | 234,3 | 1,65 |
| 2021. | 229,4 | 229,6 | 229,5 | 1,61 |

Варирање укупне дужине реке Јужне Мораве заступљено је, како због утицаја процеса ерозије обала и латералне миграције речног корита, тако и због различитих антропогених утицаја у сливу и изведених регулационих радова на главном току. Костић (1969) наводи да је током 19. века Јужна Морава често мењала и по неколико стотина метара правац свог тока, а као најбољи доказ за то је насеље Трњане (низводно од истраживачког сектора I) које се до средине 19. века више пута налазило са леве, односно десне стране реке. Анализирајући податке из Таб. 8 може се закључити да је током посматраних временских пресека Јужна Морава мењала своју дужину у распону 249,8 km (1924. године) до 228,5 km (2000. године). Прва ствар коју је потребно истаћи је непостојање линеарног повећања или смањења дужине обалских линија Јужне Мораве, већ се могу издвојити периоди опадања или пораста. Оно што је уочљиво је смањење дужине за скоро 20 km гледајући иницијални период 1924. године, што представља директну последицу регулационих радова у кориту Јужне Мораве.

Према расположивим подацима (IV „Jaroslav Černi“, 2005) током 1960-их и 1970-их година извршено је 13 регулационих радова у виду просека меандара чиме је њена дужина смањена за око 8,2%. Оваква модификација је дефинитивно оставила значајне последице по деловање физичких закона кретања воде и седимената дуж тока, што ће се касније кроз репрезентативне примере и уочити. С обзиром на време изведених регулационих радова не изненађује податак да је након 1970-их година варијација у дужини речног тока била мања (до 5%). Минимум осцилација присутан је током периода 1980-их и 1990-их година у виду смањења, да би након тога током 2000-их година имали периоде повећања дужине речног тока. Регистровано повећање представља директну последицу процеса латералног померања и ерозије обала. Међутим, посматрајући читаву дужину Јужне Мораве закључује се да повећање није нарочито изражено због настављених регулационих радова у речном кориту посебно у сегменту горњег и средњег дела тока (што ће детаљније бити обрађено у делу о регулацији Јужне Мораве).

У складу са поменути променама је и варијација индекса синусоидности. У свим временским фазама његова вредност је изнад 1,5 што упућује на закључак да се речни ток може окарактерисати као меандрирајући. Највећа вредност индекса регистрована је у првом интервалу (1,76) када је нарочито у доњем делу тока река природно меандрирала без икаквих антропогених утицаја. Након готово једног века индекс синусоидности и даље има значајну вредност од 1,61 (8,9% нижу).

Са циљем наглашавања деоница тока Јужне Мораве које су највише измениле своју дужину ова проблематика сагледана је и диференцирањем тока на неколико различитих сектора. Сектори су издвојени на основу физичко-географских карактеристика речне долине на: сектор од састава Биначке Мораве и Прешевске Моравице (БМ) (230 km + 704 m) до ушћа Врањскобањске реке (ВР), сектор од ушћа Врањскобањске реке (201 km + 667 m) до ушћа Врле (ВРЛ), од ушћа Врле (180 km + 667 m) до ушћа Власине (ВЛ), сектор од ушћа Власине (133 km + 782 m) до ушћа Топлице (ТО), од ушћа Топлице (101 km + 397 m) до ушћа Нишаве (НИ), од ушћа Нишаве (80 km + 480 m) до ушћа Сокобањске Моравице (СМ) и сектор од ушћа Сокобањске Моравице (51 km + 262 m) до Сталаћа (СТ) (0 km + 00 m). Као граница сваког од сектора изабрана је тачка ушћа неких од најважнијих притока Јужне Мораве. За сваки задати сектор израчунат је индекс промене дужине тока према неколико референтних временских пресека (1924., 1969., 1988., 2000., 2016. и 2021. године) (Таб. 9).

Таб. 9. Индекс промене дужине Јужне Мораве према специфичним деоницама

| | БМ/ВР | ВР/ВРЛ | ВРЛ/ВЛ | ВЛ/ТО | ТО/НИ | НИ/СМ | СМ/СТ | БМ/СТ |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| 1924. | 30,4 (1,32) | 21,9 (1,34) | 48,7 (1,53) | 35,7 (1,24) | 22,6 (1,23) | 29,9 (1,54) | 60,5 (2,06) | 249,8 |
| 1969. | 28,1 (1,22) | 21,1 (1,29) | 47,1 (1,48) | 33,6 (1,16) | 21,5 (1,18) | 33,1 (1,62) | 52,9 (1,88) | 239,7 |
| 1988. | 27,9 (1,21) | 19,6 (1,20) | 46,6 (1,47) | 33,2 (1,15) | 21,3 (1,17) | 31,5 (1,55) | 49,8 (1,75) | 228,9 |
| 2000. | 27,7 (1,20) | 20,2 (1,23) | 45,4 (1,43) | 33,1 (1,14) | 20,9 (1,15) | 31,6 (1,55) | 49,0 (1,74) | 228,1 |
| 2016. | 28,2 (1,23) | 21,4 (1,31) | 46,0 (1,44) | 32,2 (1,14) | 20,1 (1,12) | 29,1 (1,53) | 51,0 (1,77) | 234,3 |
| 2021. | 29,0 (1,23) | 20,9 (1,28) | 46,9 (1,44) | 32,4 (1,14) | 20,9 (1,15) | 29,1 (1,51) | 51,3 (1,77) | 229,5 |

На основу података приказаних у Таб. 9 и Сл. 21 може се увидети постојање значајних промена дужине речног тока на датим секторима. Уједно, на основу вредности индекса синусоидности, за сваки претходно издвојени сектор одређена је доминантност неког од типова речних траса. Генерално гледано, читав ток Јужне Мораве се може окарактерисати као синусоидно-меандрирајући с обзиром да преовлађују сегменти речне трасе који се сврставају у поменуте категорије. Велики утицај на то имају различитости топографске површине дуж које је усечена Јужна Морава и смена долинских сужења и котлинских проширења.

Први најузводнији сектор реке од састава Биначке Мораве и Прешевске Моравице (који се узима за почетак реке под називом Јужна Морава) до ушћа Врањскобањске реке према савременим подацима има дужину од 29 km. На основу ранијих података о дужини тока можемо видети одређене флукуације овог параметра у распону од 2,67 km. Очекивано највећа дужина регистрована је 1924. године (30,4 km), након чега следи смањење све до 2000. године (27,7 km). Поменуто смањење у вези је са одређеним природним променама трасе реке и регулационих радова у близини насељених места и инфраструктуре. У периоду 2000-2021. године уочен је пораст од 1,3 km, као последица процеса латералног померања који је регистрован на више мањих локалитета. Генерално, најузводнији сектор карактерише меандрирајући тип речне трасе (око 40%) са местимичним преласком у синусоидни у сегментима на којима није уочена висока закривљеност тока (око 33%). Значајније учешће правих или релативно правих деоница је нешто веће у односу на низводније секторе (23%) што

је директна последица регулационих радова у речном кориту (део реке који протиче кроз градско насеље Бујановац и део сектора који се приближава аутопуту А1). Разуђени тип канала карактеристичан је за изузетно мали део испитиване трасе, и углавном је реч о слабој разуђености речног тока што подразумева појаву једног или два речна острва или спруда око којих се диференцира неколико рукаваца Јужне Мораве. Поменути сектор одликује појава процеса ерозије обала сегментно - анализом старијих картографских приказа и савремених снимака на 23 локације регистрована је појава деградираних обала углавном на сектору од Бујановца (229 km + 100 m) до Давидовца (223 km + 39 m) и од Врања (206 km + 97 m) до Врањске бање (201 km + 66 m). Пространи јужни и централни део Врањске котлине којом Јужна Морава тече у овом сектору омогућио је овом водотоку значајну основу за мењање своје трасе и бочно усецање. Вредност максималне латералне миграције у периоду 1969-2021. године износила 56,5 m. Вршећи компарацију са периодом 1924. године може се констатовати да је ток реке посебно на потезу код Врањске бање и Врања знатно изместио своје корито.

Наредни сектор који се простире од ушћа Врањскобањске реке до ушћа Врле дужине је 21 km. Флукуације у дужини тока постојане су и имају ниже вредности у односу на претходни сектор, односно разлика између најдуже трасе од 21,9 km (1924) и најкраће 19,6 (1988) износи 2,3 km (Сл. 21). На овом сектору је видљив сличан тренд кретања дужине тока - опадање до 1980-их година, а затим благ пораст до рецентног стања. По питању типа речне трасе који преовлађује доминантан је синусоидно-меандрирајући (око 58%), али и знатно учешће разуђених деоница тока Јужне Мораве (око 24%). Низводно од насеља Стубал у иницијалној фази настанка је и деоница која се може окарактерисати као анастомозирајућа. Учешће правих деоница је ниже у односу на претходни пример (17,2%). Северни део Врањске котлине и довољно широка алувијална раван омогућили су слободно меандрирање речног тока што је и видљиво на основу података о дужини са почетка 20. века. Међутим, друга карактеристика овог сектора су значајне антропогене активности, пре свега интензивна експлоатација шљунка и песка из речног корита и приобаља Јужне Мораве. У последњих 20 година отворено је више таквих поља, посебно на појасу Врањска Бања (201 km + 66 m) - Врбово (191 km + 439 m). То је условило појачан процес ерозије обала на читавом сектору, као и одређене регулационе радове како би се ублажиле последице процеса. Деградиране обале регистроване су на 16 локалитета са максималним интензитетом бочног померања од 60,1 m (1969-2021).

Сектор између ушћа Врле и Власине одликује се врло специфичним морфометријским карактеристикама. Смањење дужине у периоду од 97. година износи 1,81 km (са 48,7 km на 46,9 km), док је варијација истог показатеља слична као и код ранијих деоница. Оно што је потребно истаћи је постојање високе вредности индекса синусоидности који је варирао у просеку од 1,43 до 1,53, што упућује на високо меандрирајући ток (Сл. 21). О томе сведочи и доминантан удео синусоидно-меандрирајућих типова речних траса који износи око 80%, готово одсуство разуђеног типа трасе и мали удео правих деоница. Највећи део обрађеног сектора чини Грделичка клисура (180 km + 667 m - 143 km + 60 m), где постоји значајно меандрирање тока Јужне Мораве. Посматрајући раније временске пресеке може се констатовати да је речна траса у овом делу стабилна и без изразитих промена, не узимајући у обзир регулационе радове у последњих 10 година у вези са изградњом трасе ауто пута кроз Грделичку клисуру. Део тока низводно од Грделичке клисуре карактерише се релативно стабилном трасом у савременом периоду, али због широке алувијалне равни Јужне Мораве током 100-годишњег периода постојала су честа мењања праваца и стварања бројних рукаваца. Са аспекта ерозије обала постоје пар локалитета на којима су уочени рецентни обриси ерозије обала са репрезентативним примером меандра лоцираног на око 2,5 km узводно од ушћа Власине (насеље Номаница) где је у последњих 10 година регистровано максимално померање обале од 113 m (11,3 m/god).

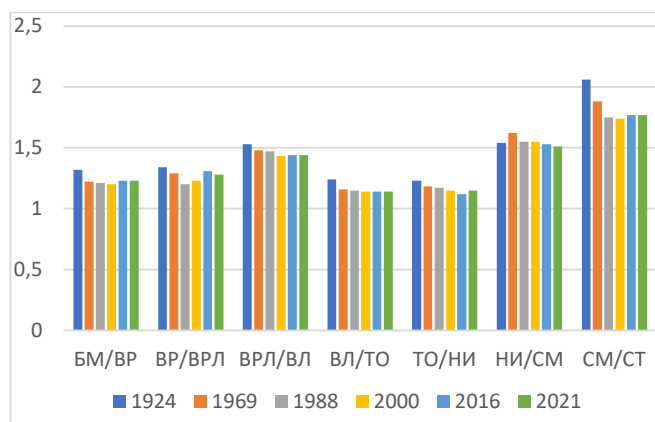
Смањењем речне трасе од 9,1% одликује се наредна деоница тока Јужне Мораве која се протеже од ушћа Власине до ушћа Топлице и обухвата источни обод Лесковачке котлине (Сл. 21). Сличним карактеристикама и смањењем од 8,2% у односу на иницијални период

карактерише се и наредна деоница до ушћа реке Нишаве, која обухвата део тока који тече Нишком котлином. Између њих се налазе два сужења која се карактеришу нешто стабилнијим речним коритом – Печењевачко сужење (између Лесковачке и Брестовачке котлине) и Корвинградска клисура (између Брестовачке и Нишке котлине). Након изласка из Грделичке клисуре и примањем већег броја значајнијих притока на овом сектору река носи велику количину наноса којег таложи дуж широког речног корита овог сектора. У том смислу и не изненађује чињеница о постојању више деоница са разуђеном речном трасом (19%), иако и даље доминантну групу чине меандрирајући сектори. Томе доприноси и знатно шири алувијална равна са леве стране у односу на десну која је на више позиција ограничена одређеним узвишењима. Након ушћа Власине постоји и једна анастомозирајућа кратка деоница са формираним речним острвом и два речна рукавца који га окружују. Један од главних разлога честих промена правца тока Јужне Мораве у овом сектору је постојање интензивне експлоатације песка и шљунка из алувијалне равни. Ерозија обала је нешто слабије изражена, и у том контексту треба поменути два мања сектора - појас узводно од села Доња Локошница са две деградираних обале и интензитетом ерозије од 187 m (1969-2021), и појас око ушћа реке Јабланице са више деградираних обала са обе стране реке. Управо је други сектор узет као репрезентативан за истраживање у наставку студије. На укупно седам локација уочена је појава деградираних обала.

Деоница тока Јужне Мораве која одступа од тренда развоја током временских периода је наредна која почиње са ушћем реке Нишаве и пружа се до Алексинца и ушћа Сокобањске Моравице. Максимална дужина тока регистрована је током пресека из 1969. године (33,1 km), док је најнижа 2021. године (29,1 km) (Таб. 9). Управо наведени подаци могу најбоље посведочити о недостатку коришћења дужине трасе или индекса синусоидности за сагледавање морфодинамике тока. Наиме, реч је о подручју са посебно израженим процесом ерозије обала и латералним померањем (нарочито током последњих 20 година). Међутим, због честе измене тока природним и антропогеним путем (просецања меандара вршена су и у савременом периоду) смањује се дужина тока па се стиче утисак као да поменута деоница прелази из претежно меандрирајуће према слабо синусоидној. Из тог разлога поменуте параметре треба користити само као основу за накнадно и темељно проучавање процеса. Ерозија обала изражена је на овом сегменту па је након детаљне анализе издвојено 12 локација са појавом деградираних обала⁵. Најзначајније деградираних обале налази се на простору катастарских општина Тешица и Моравски Бујмир, а од значаја су и оне код Банковца, Доње Трнаве, Топонице, итд. Из тог разлога су три од четири репрезентативна сектора која су детаљно истраживана у студији налазе у оквиру ове деонице.

Најнизводнија деоница од Алексинца до Сталаћа карактерише се најинтензивнијим смањењем дужине трасе са 60,5 km (1924) на 49 km (2000), односно за 19% (Таб. 9). Поменуто смањење је директна последица просецања меандарских кривина која су извршена крајем 60-их и током 70-их година прошлог века. Такође, у последње две декаде присутан је раст дужине за око 4%. Уједно, ова деоница се одликује и највећим степеном синусоидности који у савременим оквирима износи 1,77. Висок индекс извијуганости последица је физичко-географских карактеристика у којима се најнизводнија деоница налази - први део чини пространа Алексиначка котлина у којој алувијална равна Јужне Мораве има највећу ширину, а самим тим и могућност правилног развијања својих меандара; други део чини Сталаћка клисура у којој је траса извијугана, али стабилна. На овом сегменту су такође постојане локације са установљеним деградираним обалама (9), од којих се највећим интензитетом одликују три меандра код Тићине (дужине деградираних обала око 0,9 km). У осталим сегментима ерозија обала није превише наглашена, управо из разлога регулација које су рађене у ранијим периодима.

⁵ У овој студији су од значаја само делови на којима у рецентним оквирима постоји деградација речних обала.



Сл. 21. Промене индекса синусоидности Јужне Мораве према временским интервалима у оквиру издвојених деоница

Претходним представљањем квантитативних података и њиховом анализом дат је основни увид на еволуцију и рецентно стање тока Јужне Мораве у целини. Међутим, с обзиром на дужину тока, различитост физичко-географских и друштвено-географских услова, као и различитог интензитета латералног померања и процеса ерозије и акреације извршен је одабир четири репрезентативна сектора на којима је проучена просторно-временска варијабилност процеса ерозије обала.

5.1. Регулациони радови на току Јужне Мораве

Интервенције и активности човека на речним токовима и у њиховом приобаљу представљају важан фактор измене морфодинамике тока. Директни утицаји на процесе ерозије обала и акумулације еродираниог материјала огледају се кроз регулационе радове просецања меандара, изградње обалоутврда, камених депонија, насипа, итд., док се индиректни утицај односи на измене вредности хидролошких показатеља, водних режима и режима наноса, карактеристика обалског материјала. Јужна Морава представља ток на којем су вршени различити регулациони радови, али интензитет њиховог спровођења зависан је од карактеристика појединачних деоница. У зависности од физичко-географских карактеристика (геоморфолошких, геолошких, вегетацијских, хидролошких), стабилности речне трасе и угрожености насеља и становништва, могу се издвојити деонице са интензивнијим антропогеним интервенцијама и оне са мање интензивним.

У овом сегменту, кроз одређене деонице тока Јужне Мораве, биће издвојени најважнији изведени регулациони радови, са посебним и детаљнијим освртом на део тока узводно од четири репрезентативна и истраживачка сектора. На овај начин конципирано поглавље важно је у циљу стицања генералне слике уређења тока Јужне Мораве, али и сагледавања потенцијалног утицаја различитих видова регулационих грађевина на интензивирање/стагнацију и успоравање процеса латералног померања тока и ерозије обала. У том контексту, биће сагледани различити извори литературе (Дирекција за уређење слива Велике Мораве, 1966; IV „Jaroslav Černi“, 2005), али и рецентно стање на основу постојећих снимака терена.

За потребе стабилизације речне трасе, речних обала, појаве деформитета, поплавних таласа (насипи) и заштите становништва и насеља извршен је одређен број регулационих радова како у кориту, тако и у приобаљу Јужне Мораве. Међутим, треба нагласити чињеницу да је у поређењу са планираним број регулационих радова, мањи број њих и реализован. Такође, због различите речне стационаже у моменту пројектовања и реализације пројеката, у време израде студије о уређењу тока Мораве и данашњег стања, у многим ситуацијама је тешко уочити изведене регулационе радове.

Најнизводнију деоницу тока Јужне Мораве, од ушћа Сокобањске Моравице до Сталаћа (51 km + 262 m) карактеришу три морфолошке целине: мањи део Горњовеликоморавске котлине, Сталаћка клисура и северни део Алексиначке котлине. Према подацима из поменутих пројеката у овом сегменту је извршен већи број регулационих радова 1960-их година, од којих нису сви постојани у пуном обиму данас. С обзиром на низводни положај поменутих регулација у односу на репрезентативне секторе биће урађен само кратак осврт на исте. На најнизводнијем делу, дуж насеља Сталаћ изграђен је одбрамбени насип дуж десне обале Јужне Мораве који представља део насипа Велике Мораве (дужине 2,5 km) заједно са краћим левим насипом изграђеним око друмског и железничког моста преко Јужне Мораве. Наредна морфолошка јединица обухвата Сталаћку клисуру у којој због стабилности трасе није било планираних регулационих грађевина. Последњу деоницу чини нестабилни део трасе од изласка из Сталаћке клисуре до ушћа Сокобањске Моравице, где је планиран велики број регулационих радова од којих су постојани на терену само одређени. За потребе одбране од поплава постојан је готово континуирани насип дуж десне обале, дужине 18,5 km (IV „Jaroslav Černi“, 2005). Такође, у периоду 2016-2018. године изграђен је одбрамбени насип и са леве стране тока у циљу заштите насеља Витковац, Доњи Љубеш, Срезовац, итд (Службени лист општине Алексинац, бр. 25/16). Исте године, у циљу спречавања рушења обале меандра код насеља Горњи Љубеш, изграђена је обалоутврда као и додатни систем напера (Службени лист општине Алексинац, бр. 26/17), уочљиви на савременим сателитским снимцима. Поред тога, важно је напоменути и четири просека од којих је најважнији пресечен меандар код Ћићине и паралелна грађевина са 21 траверзом (Рутевац).

Наредни сегмент обухвата део тока од Алексинца до ушћа реке Нишаве (јужни део Алексиначке котлине, Мезграјско сужење и део Нишке котлине). У овом сегменту речни ток није стабилан, постоји велики број локалитета са израженом ерозијом обала, а постоје и значајни регулациони радови старијег и новијег датума вредни помена. Према пројектној документацији из 1960-их година (Дирекција за уређење слива Велике Мораве, 1966), у овом делу планирано је и изведено чак 18 регулационих радова. Међутим, 50 година касније део планираних/изведених регулационих радова није уочљив на сателитским снимцима, нити терену. Такође, на овој деоници се налазе три од четири истраживана сектора са постојаним процесом ерозије обала па се посебна пажња посвећује регулационим грађевинама конструисаним узводно од поменутих локалитета. Почев од насеља Житковац са леве обалске стране постоји готово континуирани насип који се пружа до насеља Тешице са два краћа прекида. Иако је основна функција насипа заштита од поплавних таласа они могу имати улогу и у спречавању даљег латералног померања речног тока и као такви су имали великог утицаја на честа померања током 1960-их година на истраживачком сектору I. Од регулационих радова на овом појасу регистровано је неколико обалоутврда, камених депонија, паралелних грађевина са траверзама и просека меандара.

Са аспекта проучаваних сектора важно је напоменути конструкцију *три обалоутврде* изграђене узводно од истражног сектора I. Прва, дужине 290 m лоцирана је са десне обалске стране, приближно километар узводније од M2. Изграђена је 1970-их година за потребе заштите ауто-пута од последица бочне ерозије јер је уједно на целој истраживаној траси овог сегмента, ауто-пут најближи кориту Јужне Мораве. Друга, мања обалоутврда од свега 50 m дужине изграђена је са обе стране корита реке за потребе изградње гасоводног система 1990-их година. Трећа, је изграђена 2018. године на левој обали код насеља Банковац у дужини од 250 m, као хитна мера заштите од интензивнијег урушавања тог сегмента (Уредба 66/21/2018). Након анализе услова може се констатовати да ниједна од поменутих регулација није имала значајнијег утицаја на интензитет ерозије обала M1 и M2 првог истраживаног сектора. Поред поменутих, према пројектној документацији планирано и изведено је већи број регулација у виду камених депонија чије постојање није препознато (IV „Jaroslav Černi“, 2005).

Од регистрованих просечених меандара потребно је издвојити три видљива на терену – први чије је просецање извршено током изградње деонице ауто пута 1970-их година код

Алексиначког Бујмира. Раније, према пројекту из 1960-их година извршен је низводније са леве стране просек код насеља Моравац. Други просек који је лоциран између прва два сектора од интереса извршен је 2018. године (Уредба 78/34/2017). У циљу заштите интензивног урушавања леве обале Јужне Мораве код насеља Тешица и спречавања урушавања гермотолошког центра „Јеленац“, Цркве Пресвете Богородице и неколико приватних кућа првобитно је 2015. године изграђена облаоутврда (Сл. 22). Након тога су у другој фази настављени санациони радови њене стабилизације. Међутим, како тиме проблем није у потпуности решен, и како је узводније меандар почео да врши ерозију претећи да изврши самопросецање, у периоду 2017/2018. године извршен је прокоп (трећа фаза), чиме је један од најактивнијих меандара у последњих 100 година добио улогу одсеченог меандра (Сл. 22). Трећи, најузводнији просек извршен је низводно од Суповачког моста на Јужној Морави.



Сл. 22. Просечен меандар код Тешице – сателитски снимак из 2021. године (слика лево) и поглед на старо речно корито са обрисима раније обалоутврде (слика десно) (Извор: Аутор)

На трећој деоници тока Јужне Мораве од ушћа Нишаве до ушћа Топлице у документацији (IV „Јарослав Ђерни“, 2005) је записано постојање три камене депоније око насеља Чокот и на ушћу реке Топлице у Јужну Мораву. Регистрованих обалоутврда и просечених меандара није било у датом периоду истраживања. Наредна деоница између ушћа Топлице и ушћа Власине карактерише се већим бројем регистрованих регулационих радова. Посебно је потребно издвојити постојање камене депоније и обалоутврде код насеља Запањска Топница, нешто низводније од истраживачког сектора IV. Такође, од ушћа реке Јабланице до ушћа реке Ветернице пружа се одбрамбени насип са леве стране тока Јужне Мораве, а фрагментирано и у наставку до ушћа Власине.

На свим секторима узводно од ушћа Ветернице регулациони радови су рађени у последњих 30 година и углавном су у вези са изградњом ауто-пута А1. С обзиром на већу удаљеност од истраживачких сектора немају утицаја на интензитет ерозије посматраних меандара. На траси између ушћа Ветернице и Власине урађено је три система паралелних грађевина дужине 2,6 km. Низводно од ушћа Власине до Грделичке клисуре присутан је одбрамбени насип чију је функцију у неким сегментима преузео ауто-пут. Узводно према Бујановцу изведено је више регулација речног корита који подразумевају његово измештање и регулисање за потребе изградње ауто-пута (нпр. исправљање и уређење корита код Боћевице и Палојца).

5.2. Подручја експлоатације речног наноса дуж обале Јужне Мораве

Значајну карактеристику тока Јужне Мораве представљају велики број активних локација експлоатације речног наноса како из корита реке тако и из њеног приобаља. (Борисављевић & Костадинов, 2012). Имајући у виду велики економски значај постојања овог типа привредних субјеката не изненађује претходна чињеница. Према општој дефиницији „експлоатација се обавља са хидрофилног земљишта, на локацијама где је то од значаја за побољшање и очување водног режима, у обиму који неће исти неће нарушити, као ни ниво подземних вода,

стабилност обала и природну равнотежу приобалних екосистема“ (Издавање водног акта за експлоатацију и депоновање речног наноса, <https://www.rdvode.gov.rs>).

Просторно посматрано, у свим сегментима осим Грделичке клисуре присутна је интензивна експлоатација песка и шљунка. Према објављеним подацима у генералном пројекту уређења тока Јужне Мораве у том тренутку постојало је 66 локација за експлоатацију која су добиле дозволу ЈВП „Србија воде“, са доминирајућем уделом коришћења сировина из алувијалне равни у односу на речно корито (IV „Jaroslav Černi“, 2005). На основу анализе најновијих сателитских снимака извршена је квантификација броја локација које су активне према пресеку из 2021. године. Према детаљном сагледавању снимака процењено је постојање око 90 подручја за експлоатацију шљунка и песка из приобаља или речног корита већег и средњег обима. Из поменутог броја искључене су сепарације које су дуже од пет године неактивне иако су и даље видљиви трагови трансформације приобалног појаса.

У просторном контексту могу се издвојити деонице тока са већом или мањом количином експлоатације. Сектори тока са најмањим учешћем су Бујановац-Врањска Бања, ушће Врле-ушће Власине и ушће Сокобањске Моравице-Сталаћ (појединачно учешће је мање од 10% од укупног броја). Због специфичне конфигурације терена очекивано на простору Грделичке и Сталаћке клисуре нема изражених експлоатација флувијалних ресурса. На најузводнијем сектору тек у последњих 10 година регистровано је више ископавања песка и шљунка из приобаља у складу са изградњом приступних саобраћајница и надвожњака преко новог ауто-пута А1. Сектори између Алексинца и ушћа Нишаве и ушћа Нишаве и ушћа Топлице одликују се значајним уделом од 13%. Први сектор је посебно интересантан по површини експлоатационог подручја, што алудира на високо интензивну производњу (нпр. са десне стране реке код Катуна, са обе стране код насеља Банковац и Доња Трнава, итд). Поменуте сепарације од посебног су значаја због близине истраживаних деоница, односно оних на којима је постојан процес ерозије обала. У другом сектору, због некада нестабилне деонице Јужне Мораве и честог премештања речног корита отворено је више различитих подручја експлоатације, нарочито на потезу Чокот-Батушинац.

Сектори који се одликују са највише подручја за коришћење приобалног материјала су ушће Топлице – ушће Власине и сектор од ушћа Врле до ушћа Врањскобањске реке (око 22%) (Таб. 10). На првој деоници и њеној целокупној дужини распрострањене су сепарације велике површине које имају посебног утицаја на повећавање могућности за лутање тока Јужне Мораве. У том контексту, посебно су важне оне које су лоциране око ушћа реке Јабланице (у атару насеља Грданица и Липовица). Основна карактеристика поменуте деонице је константно ширење подручја сепарације, што уз изградњу приступних путева и коришћењем тешке механизације додатно деградира обалски појас. Последњи поменути потез је посебно интересантан јер је у последњој деценији отворено више просторно различитих поља за вађење и коришћење приобалног флувијалног материјала.

Таб. 10. Број подручја експлоатације речног наноса по km речног тока Јужне Мораве

| Сектори | Број сепарација/km |
|---------|--------------------|
| Б/ВБ | 0,27 |
| ВБ/ВР | 0,95 |
| ВР/ВЛ | 0,19 |
| ВЛ/ТО | 0,59 |
| ТО/НИ | 0,57 |
| НИ/АЛ | 0,41 |
| АЛ/СТ | 0,195 |
| Укупно | 0,39 |

Извор: Елаборација аутора на основу доступних сателитских снимака и литературе

Посебно угрожена деоница тока у том контексту је Врбово-Стубал-Мазарић где на краткој речној километражи постоји лоцирано скоро 10 сепарација велике и средње површине (нпр. са леве стране код насеља Стубал и Врањски Прибој и са десне стране код насеља Превалац). Важан показатељ представља и број сепарација према километру речног тока Јужне Мораве који за цео ток износи 0,39 (Таб. 10). Највиша вредност готово близу броја 1 карактерише други најузводнији сектор (0,95), а вредношћу преко 0,5 карактеришу се и сектор између Власине и Топлице и Топлице и Нишаве. Нешто више од 60% свих сепарација лоцирано је са леве стране Јужне Мораве.

Утицај експлоатације наноса из речног корита и приобаља има значајне негативне последице на процес ерозије обала. То се односи пре свега на угрожавање стабилности речне трасе, повећање дужине деградираних обала, омогућавање процеса лутања речног корита, итд.

5.3. Продубљивање речног корита Јужне Мораве

Поред латералне или бочне ерозије обала Јужне Мораве, чији је интензитет и тренд кретања у фокусу овог истраживања, важно је напоменути и постојање друге компоненте речне ерозије, дубинске или вертикалне ерозије речног корита. У питању је врло актуелан и постојан процес на територији Србије уско везан за истраживану проблематику, али и бројне антропогене и регулационе радове на току и у сливу реке. Из тог разлога важно је осврнути се и на узроке, последице и постојано стање интензитета речне ерозије корита на основу претходно урађених студија и литературе. Продубљивање корита настаје услед нарушавања баланса између транспорта седимената, воде и морфометријских карактеристика речног тока.

Иако истраживања на ову тему нису у великој мери заступљена у научним круговима, могуће је издвојити одређене практичне и теоријске радове који третирају поменути проблематику (Goda et al., 2007; Zhang et al., 2007). Наглашавајући антропогене узроке и грађевинске радове на току Дунава у 20. веку Goda и сар. (2007) су у свом истраживању проучавали вредност вертикалне ерозије речног корита на сектору реке кроз Мађарску. Државе кроз које Дунав протиче у узводном сектору препознале су проблематику повећања интензитета продубљивања речног корита па су у последњих 20 година предузете одређене мере за спречавање високог утицаја (побољшање гранулометријског састава речног дна, законска регулатива о дозвољеном багеровању шљунка и песка из корита, итд). Gilja и сар. (2010) су на сектору реке Саве близу границе Словеније и Хрватске утврдили стопу продубљивања корита од чак 3 m за период од 20 година. Посебно су нагласили постојање велике угрожености мостовских конструкција. Zhang и сар. (2007) су извршили квантитативну анализу продубљивања корита реке Јангцекјанг на експерименталном сектору у Кини. Добијени резултати су указали на повећану стопу дубинског усецања, са посебним нагласком на последњи временски период 1997-2007. године. Утврдили су постојање снажнијег интензитета процеса у дубљим и ужим деоницама у односу на шире и плиће делове.

У литератури се може издвојити више различитих узрочника који утичу на повећање интензитета вертикалне ерозије речног корита. Први и најважнији обухвата регулационе радове на току или у приобаљу реке. Већина радова има за циљ спречавање поплавних таласа и њихово пружање по алувијалној равни (насипи) или смањење интензитета латералног померања тока (обалоутврде, просеци). Формирајући насипе врши се онемогућавање поплавним таласима да се бочно шире па у том случају они алтернативним, другим начином ослобађају своју велику енергију. Због тога река врши продубљивање корита. Са друге стране процес антропогеног просецања меандара, скраћивањем дужине тока, утиче на повећање нагиба што означава и повећање транспорта воде и седимената. Наредни врло постојан разлог је постојање сепарација за експлоатацију шљунка и песка из корита реке, чиме се на директан начин врши продубљивање тока.

Од антропогених радова у сливу који имају веома снажан утицај на процес продубљивања речног корита су антиерозивни радови који пре свега укључују изградњу многих брана и акумулација у сливу. Оне задржавају велику количину крупнијег наноса, што условљава значајно умањење вученог наноса и умањење од 30-40% суспендованог наноса (Sugian & Rinaldi, 2003). Самим тим умањује се и његово таложње у кориту главног тока и његових најнизводнијих сегмената (Goda et al., 2007; Babić-Mladenović, 2018). Као један од фактора интензивирања процеса може бити и повећање протицаја реке, условљено антропогеним или природним путем.

Неке од значајних последица које настају интензивирањем поменутог процеса укључују: јаче подривање речних обала што резултира додатним повећањем ерозије обала, смањење нивоа воде у реци, смањење нивоа подземних вода у алувијалној равни, оштећење инфраструктурних објекта у речном кориту и обалском појасу, итд. Babić-Mladenović (2018) наводи пример Велике Мораве као реке код које је дошло до опште деформације речног корита, пре свега мислећи на његово продубљивање. У том контексту, услед смањења дужине речне трасе за 18%, уз смањен доток седимената из слива, регистрован је интензитет продубљивања од 3 m у периоду од више деценија (за дужину тока од 180 km). Последица регистрованог процеса посебно се видела на примеру измене режима подземних вода у приобаљу. Деградиција корита Велике Мораве не представља изузетак већ један тренд који прати и остале токове на територији Србије.

Попут наведених примера, на основу домаћих студија и документације утврђен је повећан интензитет продубљивања речног корита Јужне Мораве. Овај сегмент је посебно важан са аспекта последица процеса на различите сегменте флувијалног окружења. У студији Института Јарослав Черни о уређењу тока Јужне Мораве из 2005. године, након проучавања уздужног профила тока дати су одређени закључци у вези са процесом продубљивања речног корита. Утврђено је да је на потезу од Грделичке клисуре до Сталаћа, дуж целог тока, дошло до продубљивања корита одређеног интензитета. Континуирано продубљивање, анализирајући период од 1924. до 2004. године, доказано је утврђивањем ниже линије талвега. Такође, гледајући по секторима детерминисано је да је најмањи интензитет дубинске ерозије запажен на најнизводнијој деоници око Сталаћке клисуре (0,2-0,3 m). Интензитет средње јачине регистрован је на делу тока кроз Алексиначку и Нишку котлину (0,5-1 m), док су максималне вредности продубљивања речног корита регистроване на сектору од ушћа Нишаве до ушћа Топлице са вредношћу више од једног метра.

С обзиром на добијене резултате и посебно повећање интензитета продубљивања корита у средњем делу тока реке Јужне Мораве извршена је анализа нивоа подземних вода у алувијуму реке, утврђивањем динамике средњегодишњих просечних, максималних и минималних висина нивоа подземне воде. Тражени подаци су преузети из Хидролошких годишњака РХМЗ Србије за неколико станица дуж доњег и средњег тока Јужне Мораве – Бобовиште насип, Бобовиште село, Житковац – циглана, Мрамор и Дољевац село за период 1991-2020. године. Иако мерења нивоа подземних вода постоје и у ранијим временским оквирима, што би било изразито важно за сагледавање варијација овог параметара, положај станица се мењао па из тог разлога подаци нису упоредиви. Добијени резултати указали су на појаву највеће динамике на профили Дољевац село где су регистроване промене сва три параметра, али највећег интензитета код максималних нивоа подземних вода. На осталим профилима су такође код истог параметара регистроване највеће промене, али оне нису имале велику значајност. *Према томе, на основу извора литературе и познатих чињеница могуће је констатовати постојање промене дубине речног корита Јужне Мораве које изискује једно комплексно истраживање и ново студијско поље са посебним акцентом на анализу последица.*

6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Поглавље „*Резултати истраживања*“ конципирано је на дедукционој основи, од опште анализе добијених резултата и њихове валоризације, према појединачним особеностима. У ту сврху у првом делу су анализирани резултати интензитета латералног померања речног тока и ерозије обала. Они се заснивају на утврђивању морфолошке еволуције Јужне Мораве током 100-годишњег периода, а кроз анализу изабраних деоница (сектори 1-4; меандри 1-7⁶). Након тога, детаљно је анализирана морфолошка еволуција изабраних меандара током последњих 20 година, са освртом на варијабилност обалске линије. Савремене морфометријске карактеристике меандара обрађене су кроз графичко представљање и просторно-временску анализу детерминисаних показатеља свих седам меандара. Кроз читав поступак представљања резултата током 97-годишње еволуције вршена су поређења и корелације свих анализираних варијабли.

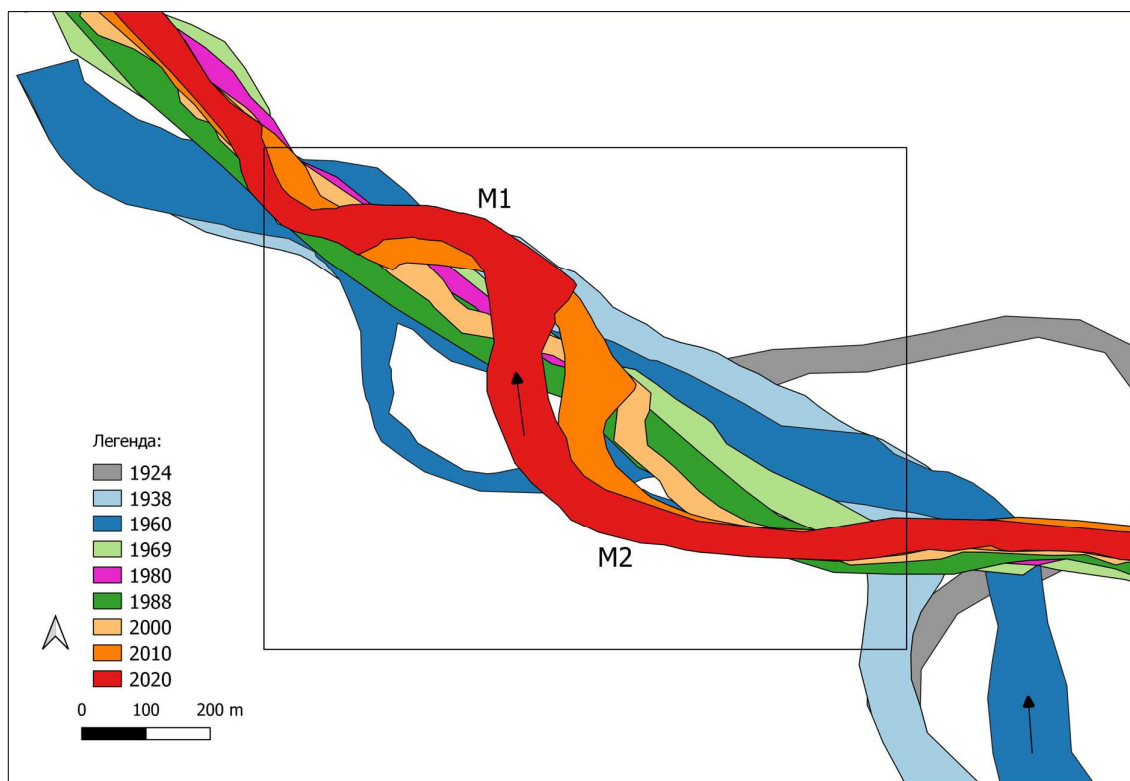
У другом сегменту поглавља, приказани су резултати теренских истраживања помоћу којих је извршено праћење процеса током периода израде докторске дисертације (новембар 2019 – новембар 2021. године). По истом принципу, првобитно је кроз квантификацију процеса латералне миграције анализирана рецентна морфодинамика свих меандарских кривина. Представљање резултата у овом сегменту укључило је израду графичких прилога сваке деградираних обале за седам меандара са тачном локацијом профила и вредностима показатеља. Потом су према методолошком концепту квантификоване вредности ерозије обала кроз показатеље просечног и укупног губитка земљишних површина. По узору на претходну фазу, и овде су детаљним картографским прилозима директно на добијеним ортофото снимцима означене области ерозије. Последња етапа представљања резултата истраживања укључивала је анализу података о висини деградираних обала, односно запремини изгубљеног земљишта. Кроз сваки анализирани сегмент дати су прелиминарни закључци, као и прелиминарна дискусија, али и апострофирани уочене специфичности (максималне вредности, неочекивано ниске вредности интензитета и слично).

6.1. Просторно-временска динамика процеса латералног померања обала - сектор I

Анализирајући положај речног тока кроз различите временске интервале донети су одређени закључци у вези са интензитетом и смером његовог латералног померања, еволутивним карактеристикама меандра и трансформације његових геометријских карактеристика. На основу дефинисаних граница референтних сектора, речни ток Јужне Мораве на првој истраживаној деоници карактерише постојање два типска меандра (M1 и M2) (Сл. 23). Међутим, посматрајући њихову морфолошку еволуцију, као и развојне фазе, регистроване су промене правца, стране и компактности меандра на првој истраживаној деоници. На основу приказане еволуције сектора током 97-годишњег периода, могуће је констатовати да је реч о веома нестабилној деоници тока, са честом појавом латералног померања тока, лутања, али и појаве природних просека насталих под утицајем повећаног протицајног таласа. Дакле, речни ток је на референтном сектору I често мењао тип речне трасе (прави-синусоидни-разуђени-меандрирајући - па чак и анастомозирајући).

Према најстаријем картографском извору података из 1924. године могу се издвојити један доминантан десни меандар неправилног облика (Сл. 23) (који само у најнизводнијем делу улази у истраживану деоницу према савременом стању) и два секундарна низводнија меандра у иницијалној фази настанка. На основу приказа из 1894. године, са већим степеном генерализације карте, јасно се може увидети постојање доминантног десног меандра. У циљу детерминисања и квантификовања интензитета процеса латералне миграције, развој поменута три меандра сагледаван је током наредних 97 година (Сл. 23; Таб. 11).

⁶ У наставку дисертације најчешће коришћени у облику: M1, M2, M3, M4, M5, M6 и M7.



Сл. 23. Положај речног тока Јужне Мораве на простору сектора I (1924-2020)

Већ у наредном временском пресеку (1938. године) уочава се потпуна измена у развоју дате десне меандарске кривине, која под утицајем природног процеса престаје да постоји, односно која је латерално померена према левој страни (Сл. 23). Удаљеност од темена некадашњег меандра до темена меандра новонастале деонице износи готово 400 m. Међутим, због непостојања базе података о положају речног тока у периоду између 1924. и 1938. године, као ни литературних извора и објашњења, са сигурношћу се не може констатовати да ли је меандар извршио интензивну ерозију обале на супротну страну након достизања максималног положаја до ивице алувијалне равни; или је нова траса речног корита последица природног пробијања врата меандра. С обзиром на правац и положај корита према извору из 1938. године, као и изглед првог узводног меандра, реалнија је друга претпоставка. У средишњем делу сектора значајнијих измена у положају обалских линија није било, па је вредност максималне латералне миграције износила око 60 m (3,95 m/god) (Таб. 11). Већ током ране еволутивне фазе може се уочити да је реч о нестабилној деоници тока Јужне Мораве која у том периоду нема карактеристике меандрирајућег, већ изразито разуђеног сектора реке, на шта указује и већи број спрудних формација видљивих на карти. О свему томе сведочи и ниска вредност индекса синусоидности који је 1938. године износио свега 1,01, што упућује на готово праву деоницу тока и представља једну од карактеристика разуђености речне трасе.

Од наредног периода речно корито у узводнијој деоници тока добија одлике равномерног развоја са израженим процесом деградације леве обале различитог интензитета, а у зависности од временских пресека (Сл. 23). Та деоница се може сматрати иницијалном фазом настанка и развоја рецентног М2. За разлику од тога, М1 своју правилну форму развоја добија у периоду након 1970. године, када почиње интензивни рад тока и деградације десног обалског појаса. У периоду пре 1970-их година на простору сектора М1 присутна су карактеристична лутања тока на мањим удаљеностима од матице без неких регистрованих правилности. Регистрована је и ниска вредност индекса синусоидности од 1,01. Међутим, важно је нагласити 1960. годину. Наиме, поред поменутог централног дела тока који обухвата простор данашњих М1 и М2, под утицајем касније утврђених екстремних хидролошких

прилика из 1950-их година, наступио је процес одвајања речних рукаваца и усецање новог секундарног речног корита. На Сл. 43 могу се уочити два секундарна речна корита, узводнији који је доминантан (дужине 788 m) и низводнији са 2,5 пута мањом дужином (273 m). Даље пробијање секундарних рукаваца заустављено је постојањем насипа чиме је онемогућено његово даље ширење по алувијалној равни. Након пробијања нових речних корита, делови акумулираног наноса постала су речна острва површине 4,69 ha (низводније) и 0,75 ha (узводније) (Сл. 43). Ипак, с обзиром на ширину и значај примарног речног корита постојање рукаваца није било дугог века и већ након девет година у наредном пресеку из 1969. године видљиви су само обриси и делимично акумулирани остаци некадашњег секундарног речног корита. Од 1970-их година са природном или антропогеном регулацијом показатеља који утичу на интензитет процеса ерозије обала заустављена је фаза разубуђености и читав сектор постаје доминантно меандрирајући.

Таб. 11. Вредности максималне и просечне латералне миграције и индекса синусоидности M1 и M2 (CI) (1924-2020)

| | Период | Број година | M _{max} (m) | AM _{max} (m/god) | M _{max} (ап.) | AM _{max} (ап.) | Год. | L (km) | SI |
|----|------------|-------------|----------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|-------|--------|------|
| M1 | 1924-1938. | 15 | / | / | / | / | 1924. | 1.063 | 1,06 |
| | 1939-1960. | 22 | / | / | / | / | 1938. | 1.140 | 1,01 |
| | 1961-1969. | 9 | / | / | / | / | 1960. | 1.400 | 1,26 |
| | 1970-1980. | 11 | 7,1 | 0,64 | 11 | 1 | 1969. | 1.395 | 1,02 |
| | 1981-1988. | 8 | 6,2 | 0,77 | 9 | 1,1 | 1980. | 415 | 1,02 |
| | 1989-2000. | 12 | 5,8 | 0,45 | 9,1 | 0,7 | 1988. | 435 | 1,02 |
| | 2001-2010. | 10 | 91,2 | 9,12 | 105,1 | 10,5 | 2000. | 440 | 1,05 |
| | 2011-2020. | 10 | 25,2 | 2,52 | 70,1 | 7,0 | 2001. | 619 | 1,17 |
| | 1970-2020. | 97 | 126,4 | 2,5 | 126,4 | 2,5 | 2020. | 391,5 | 1,19 |
| M2 | 1924-1938. | 15 | 59,3 | 3,95 | 59,3 | 3,9 | 1924. | 1.063 | 1,06 |
| | 1939-1960. | 22 | 88,3 | 4,01 | 89,1 | 4,0 | 1938. | 1.140 | 1,01 |
| | 1961-1969. | 9 | 134,1 | 14,9 | 135,5 | 15,0 | 1960. | 1.400 | 1,26 |
| | 1970-1980. | 11 | 26,2 | 2,38 | 29,0 | 2,6 | 1969. | 664 | 1,01 |
| | 1981-1988. | 8 | 23 | 2,87 | 24,1 | 3,0 | 1980. | 679 | 1,02 |
| | 1989-2000. | 12 | 6,8 | 0,56 | 36,8 | 3,1 | 1988. | 701 | 1,04 |
| | 2001-2010. | 10 | 77,9 | 7,79 | 95,8 | 9,6 | 2000. | 721 | 1,08 |
| | 2011-2020. | 10 | 70,9 | 7,09 | 119,3 | 11,9 | 2001. | 742 | 1,19 |
| | 1924-2020. | 97 | 490,7 | 5,0 | 490,7 | 5,0 | 2020. | 408,2 | 1,21 |

M_{max} – максимална латерална миграција (m); AM_{max} – просечна максимална латерална миграција (m/god); M_{max} (ап.) – апсолутна максимална латерална миграција; AM_{max} (ап.) – апсолутна просечна латерална миграција; L – дужина (km); SI – индекс синусоидности

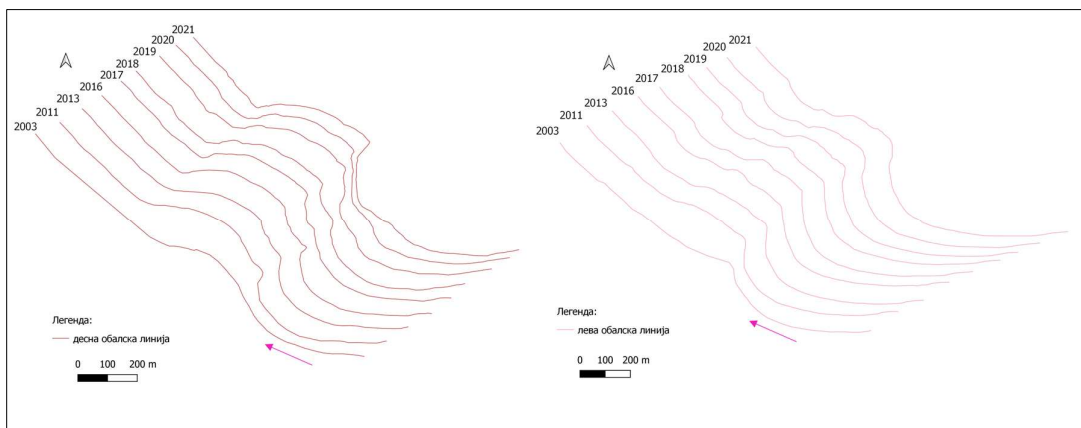
У периоду 1970-2021. године максимална вредност латералне миграције M1 износила је 126,4 m, односно 2,47 m/god (Таб. 11). Диференцирајући укупни период од 51 годину на два, можемо утврдити изразито већи интензитет померања током другог истраживаног интервала (2001-2020) када је просечна вредност максималне миграције речног тока износила око 62 m. У првој издвојеној фази регистроване су релативно ниске вредности латералног померања у распону од 0,44 m/god (1989-2000) преко 0,64 m/god (1970-1980) и 0,77 m/god (1981-1988). Приказане вредности добијене су на основу профила на којем је утврђена укупна вредност латералне миграције за читав период од 126,4 m. Међутим, ни апсолутни максимуми немају велика одступања у односу на претходно квантификоване вредности (до 1,13 m/god). Да је реч о рецентно латерално активном сектору реке Јужне Мораве, говори и податак о интензивној латералној миграцији у последњих 20 година. У том контексту нарочито је значајан период 2001-2010. године са регистрованом вредношћу апсолутног максималног померања од 105,1 m (или чак 10,5 m/god). У последњих 10 година активност меандра је скоро 40% мања (7,0 m/god), али и даље значајна посматрајући раније регистроване вредности интензитета. Утврђена активност M1 у рецентним оквирима иде у прилог значајности обрађене

проблематике по различитим аспектима - од научно-истраживачког до економског и еколошког.

Развој М2 може се пратити од самог почетка истраживаног периода, те стога вредност апсолутно максималне латералне миграције у периоду 1924-2020. године износи 490,6 m или 5,1 m годишње. Изразито висока миграторна активност М2 последица је нестабилне речне трасе која је од праве и разуђене форме током 97-годишњег периода осматрања трансформисана у високо меандрирајућу. О томе сведочи и промена индекса синусоидности са 1,01 у иницијалној фази осматрања до 1,21 у рецентном стању. Диференцирајући просторно-временску динамику М2 на два сегмента утврђујемо нешто више вредности померања у првом периоду (1924-1969., 6,47 m/god) у односу на другу фазу (1970-2020., 5,1 m/god). Анализирајући према појединачним временским интервалима могу се издвојити одређене законитости. До 1969. године видљив је градацијски пораст интензитета максималне миграције речног тока што је уткано у приказаним резултатима у Таб. 11. Просечна латерална миграција у првом интервалу износила је 3,9 m/god, у другом 4,0 m/god, док је у најкраћем периоду трајања од свега девет година (1961-1969) регистрована вредност просечне апсолутне латералне миграције од чак **15,0 m/god**. Ови резултати добијени су квантификавањем вредности латералног померања главног речног корита, не узимајући у обзир сегменте који су настали пробијањем рукаваца и формирањем привремених речних корита.

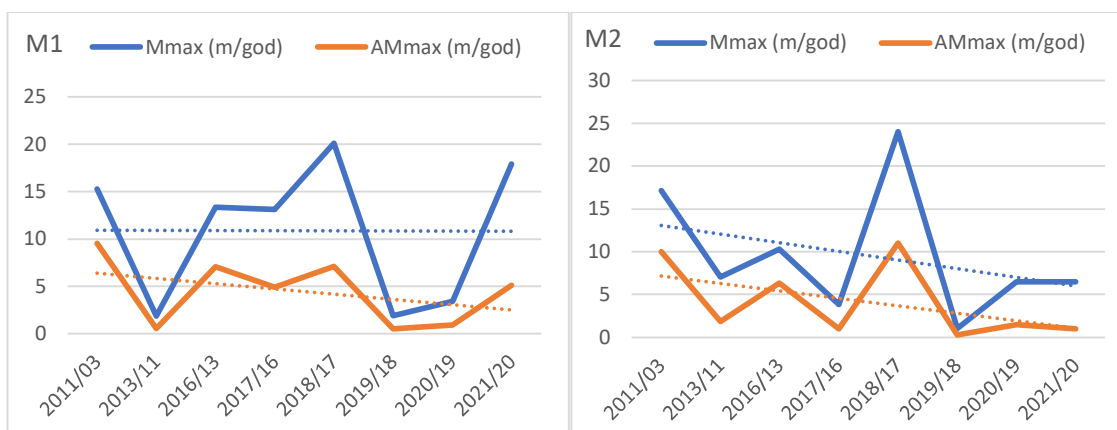
Након тога наступа период релативне стабилизације у домену бочне ерозије о чему сведоче добијени подаци о просечном максималном померању – деценија 1970-их 2,63 m/god, а 1980-их и 1990-их по 3 m/god. Већина антиерозивних радова у сливу и регулационих радова на току Јужне Мораве су већ реализовани, те је такав фактор са стабилизацијом у варијацијама природних агенса утицао на постојање нижих стопа померања. Међутим, период последњих 20 година као и код М1 посебно је истакнут с обзиром на веће вредности латералног померања. Наиме у првој деценији 21. века регистроване су вредности апсолутног померања од 95,8 m или 9,6 m/god. Интензитет је код одређених профила изразито увећан у последњих 10 година, јер је забележена вредност апсолутне миграције од 119,3 m или 11,9 m/god. Посматрајући иницијални профил, вредности просечног максималног померања износиле су 7,9 односно 7 m/god.

С обзиром на високу стопу померања утврђену током последња два периода, била је неопходна њихова детаљнија анализа. Могућности коришћења опције „*Historical Imagery*“ у оквиру софтвера *Google Earth* посебно су значајне за комплексну анализу процеса латералног померања обала током последњих 15 година. У складу са поменути, на Сл. 24 представљено је колебање мофодинамике у периоду 2003-2021. година на основу доступности снимака за оба меандра првог истраживаног сектора. Издвојено је девет година (2003., 2011., 2013., 2016-2021.) за које су квантификовани подаци о максималној и просечној максималној вредности латералног померања. На примеру М1 можемо увидети да је до највећег интензитета бочног померања дошло у периоду 2003-2011. године са утврђеном вредношћу просечног померања од чак 122 m. Након овог интервала следи период 2013-2016. године са 40,1 m и период 2018/17 са **20,1 m**. Међутим, узимајући у обзир реалнији показатељ максималне и просечне максималне стопе померања/годишње можемо увидети и одређене разлике (Сл. 25). У том контексту, најинтензивнији рад меандра регистрован је у периоду 2018/17 (20,1 m/god), 2021/20 (17,5 m/god) и првом периоду 2011/03 (15,2 m/god). Сличан тренд кретања регистрован је и код просечне стопе максималног померања са доста нижим вредностима. Такође, на Сл. 24 очигледна је појава деформитета у централном делу десне обалске линије М1, односно да од меандра који је био у иницијалној фази настанка 2003. године, 2021. године буде присутан изразити пик меандра који деградира десну обалску страну.



Сл. 24. Компаративни приказ деформације десне обалске линије M1 и леве обалске линије M2 (2003-2021)

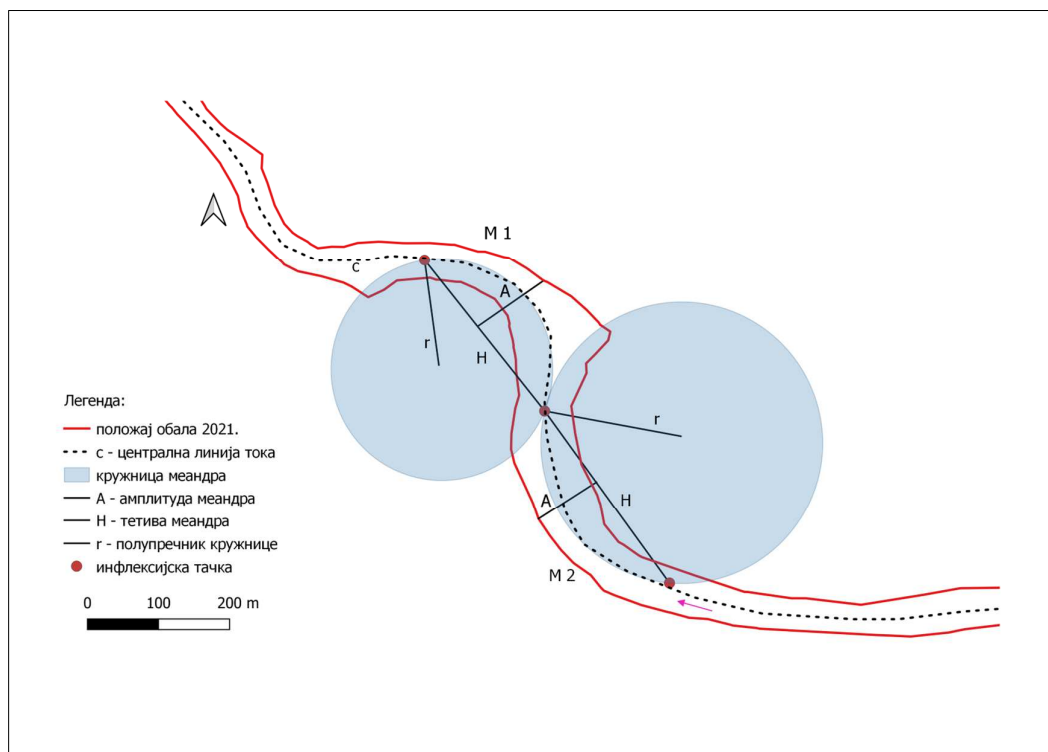
На примеру M2 можемо такође проучавати интензитет процеса латералног померања у последњих 15-ак година. На основу добијених резултата увиђа се постојање изразитог померања и еродибилности током периода 2018/17 са вредношћу од чак 24 m/god. Затим следи иницијални период 2011/03 (17,5 m/god), као и период 2016/13 (10,4 m/god). Због високих стопа померања конкавне леве обале M2, и у овом случају, може се уочити његово продубљивање односно раст (Сл. 25).



Сл. 25. Динамика максималног и просечног максималног латералног померања обала M1 и M2 (2003-2021)

У циљу адекватнијег сагледавања утицаја процеса латералне миграције на изглед речне трасе Јужне Мораве, у наставку ће бити анализирано рецентно стање основних морфометријских карактеристика меандара. У складу са поменути, на Сл. 26 представљене су рецентне геометријске карактеристике M1 и M2 (почетак 2021. године). Ток Јужне Мораве се на два суседна меандра одликује различитим геометријским карактеристикама што се посебно види посматрајући показатељ максималне ширине корита. На примеру M1, она износи 129,6 m, док код M2 има вредност од 94,2 m. Овакве нагле промене ширине корита јесу карактеристика тока Јужне Мораве, односно добијени резултати су у координацији и корелацији са претходним истраживањима (IV „Jaroslav Černí“, 2005). Просечна ширина корита, квантификована проналажењем аритметичке средине свих повучених профила на 50 m тока, показује већа одступања код M1 у односу на M2. Разлог томе је да је врх темена M1 знатно испупчен од остатка, те је вредност максималне ширине на потезу око врха меандра знатно виша у односу на просечне. M1 одликују следеће вредности основних параметара – амплитуда 127,5 m, тетива 337,3 m, а полупречник меандарске кружнице има вредност 204 m. Код M2 присутне су сличне вредности тетиве и полупречника меандра, док је због нешто мање

закривљености вредност амплитуде за 15% мања и износи 108,5 m. Због ових разлика, вредност индекса елиптицитета или индекса меандрирања има вишу вредност код M2 (3,47) у односу на M1 (2,64).



Сл. 26. Основне морфометријске карактеристике M1 и M2 према рецентном стању (2021)

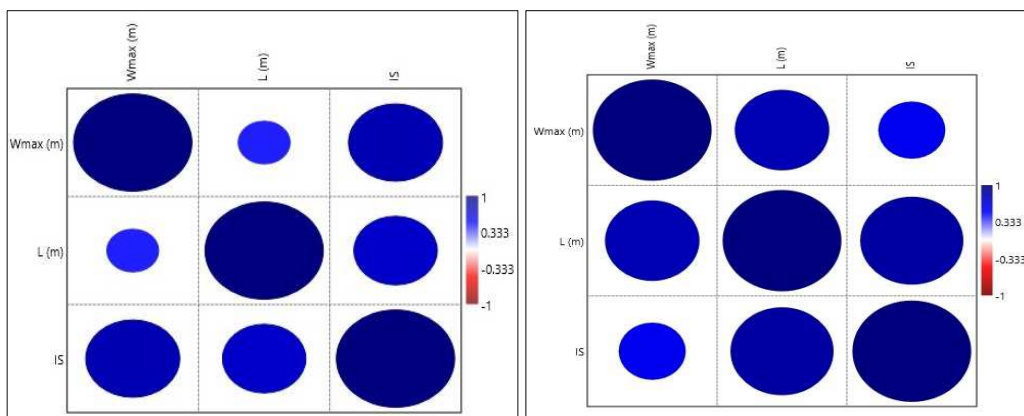
У даљем раду, извршена је компаративна анализа неких од најзначајнијих морфометријских показатеља оба меандра након 2010. године. Њихови подаци приложени су у Таб. 12 и указују на постојање промена вредности свих проучаваних параметара током десет година. Максимална ширина M1 је у десет година повећана за 13%, док је код M2 тај проценат значајнији и износи 22%. Међутим, податак да није било значајнијих промена у просечној вредности ширине корита током посматраних периода иде у прилог асиметричном дејству процеса ерозије обала, односно чињеници да померање обала и измена морфометријских карактеристика меандара нису равномерне на свим истраживаним профилима. Устаљена је ситуација да се у оквиру једног или два профила меандар интензивније латерално шири, што утиче на повећање максималне ширине, али и на незнатне измене просечне ширине корита. Вредности осталих параметара (амплитуда, тетива, полупречник, индекс мигрирања и таласна дужина) такође бележе одређене промене. Интересантан податак се односи на дужину централне линије меандра – код M1 у периоду од 10 година извршено је смањивање за око 13% дужине, док је истовремено дужина M2 увећана за 22%. Својом интензивном ерозијом и померањем леве обалске линије M2 еродира формирани спруд M1 чиме утиче на смањење основних морфометријских карактеристика M1.

Таб. 12. Вредности основних морфометријских карактеристика M1 и M2 2010. и 2021. године

| | Год. | W_{max} (m) | W_{sr} (m) | A (m) | H (m) | Ie | R (m) | λ (m) | L (m) |
|----|------|---------------|--------------|-------|-------|------|-------|---------------|-------|
| M1 | 2010 | 113 | 65,2 | 125 | 405 | 3,24 | 279 | 600,1 | 450,2 |
| | 2020 | 129,6 | 72,6 | 127,5 | 337,3 | 2,64 | 204,2 | 623,3 | 391,2 |
| M2 | 2010 | 68 | 60 | 98 | 340 | 3,46 | 211 | 729 | 530 |
| | 2020 | 87,1 | 60,5 | 108,5 | 376,9 | 3,47 | 211,1 | 704,1 | 680,1 |

W_{max} (m) – максимална ширина тока; W_{sr} (m) – просечна ширина тока; A (m) – амплитуда; H (m) – тетива; Ie – индекс меандрирања; R (m) – полупречник меандарске кружнице; λ (m) – таласна дужина меандра; L (m) – централна дужина тока.

Финални део овог сегмента анализе обухватио је формирање корелационих матрица (Сл. 27) између три одабрана морфометријска показатеља оба меандра истраживачког сектора I. У ту сврху извршен је избор параметра максималне ширине, дужине и индекса синусоидности, чији су подаци квантификовани за свих девет одабраних година (2003-2021). Добијени резултати су указали на вишу подударност у тренду промене код параметара M2 у односу на M1. Наиме у веома високој корелацији су вредности дужине и индекса синусоидности (0,86) и максималне ширине (0,79), док је слаба корелација (0,38) утврђена између максималне ширине и индекса синусоидности M2. Код M1 уочљива је супротна ситуација, односно највиши степен слагања варијабли IS и W_{\max} са вредношћу коефицијента од 0,79 (висока корелација). За разлику од тога умерен корелативан однос присутан је између промена варијабле максималне ширине и дужине речне трасе. *Након кратке анализе добијених резултата може се закључити да два меандра који се налазе један наспрам другог, под утицајем базних фактора, али и локалних физичко-географских услова у одређеним временским периодима могу имати другачији тренд развоја и варијација основних показатеља морфометрије, ерозије обала и латералног померања речног тока. Такође, поменути варијације се не морају испољити истим интензитетом у свакој тачки евидентираног меандра, већ најчешће назначени процеси максимум доживљавају у оквиру једног профилног сегмента.*

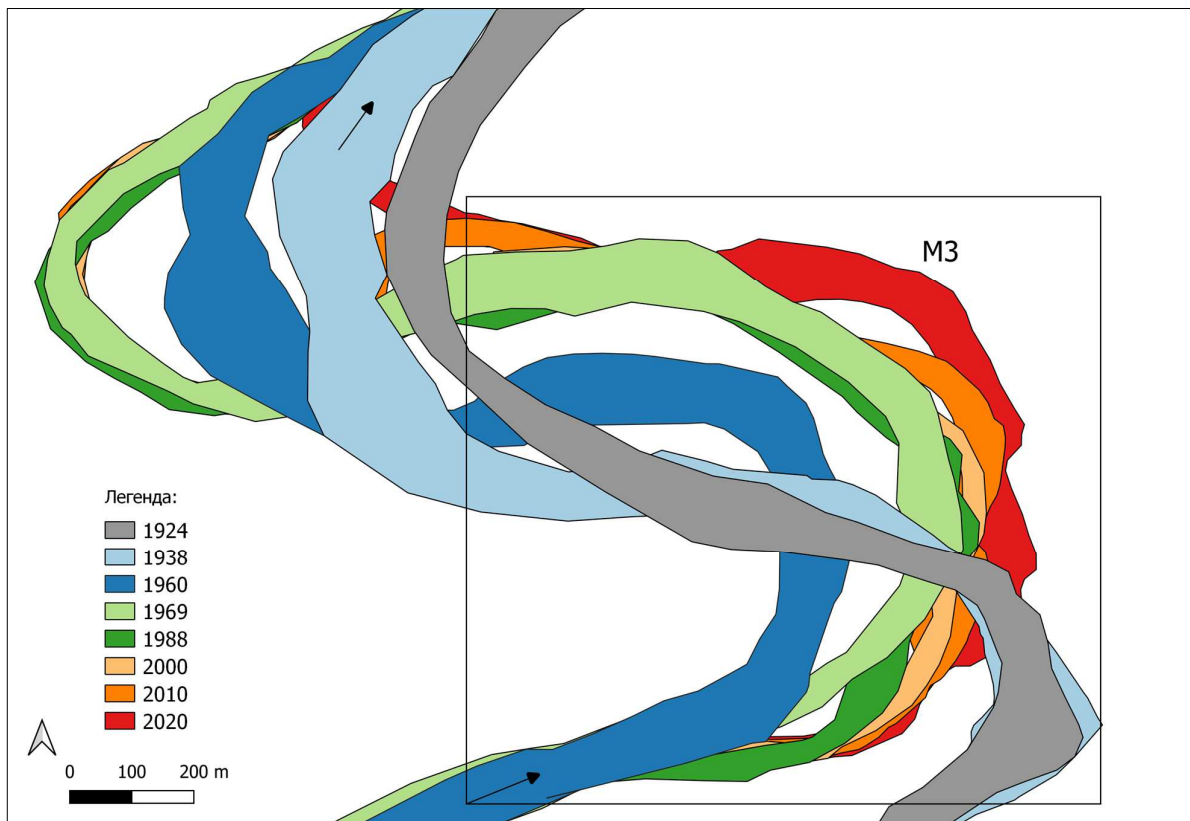


Сл. 27. Корелационе матрице параметара максималне ширине, дужине и индекса синусоидности M1 (лево) и M2 (десно) (2003-2021)

6.2. Просторно-временска динамика процеса латералног померања обала - сектор II

Динамика процеса латералне миграције речних обала изражена је и на истраживачком сектору II који обухвата један изражени меандар (M3). Реч је неколико километара узводнијој деоници тока Јужне Мораве у односу на претходна два меандра. Као што је раније напоменуто, M3 представља комплексну меандарску кривину која се састоји од три мања секундарна меандра или три врха која се због различитог интензитета процеса ерозије и њеног правца развијају несразмерно. Такав процес присутан је током последње деценије, док је до тада постојао један типски пример меандра. За разлику од других меандарских кривина код M3 постоји правилна и равномерна динамика речног тока, односно правац померања се није мењао у последњих 97-година истраживања. Иако су вредности интензитета процеса варирале током периода посматрања, развој M3 је кроз читав период осматрања био оријентисан ка десној обалској страни. Осим ерозије обалског појаса, на овом меандру је потребно издвојити и једно природно пробијање новог речног корита које је регистровано у периоду између 1938 и 1960. године (слично као и у претходном случају). Након периода екстремних протицаја, средином 50-их година прошлог века пробијен је један значајнији рукавац чиме је формирано речно острво површине око 7,65 ha. Дужина централне линије корита рукавца износила је 0,9 km. Није утврђено до када је дати рукавац био активан, али је чињеница да је у наредном временском пресеку читав површина острва еродирана. *Према томе, на низводном и средњем делу тока*

Јужне Мораве, на основу анализираних резултата (а и оних накнадних), може се утврдити да су заједно са интензивним процесом ерозије обала присутна и честа измештања речног корита под утицајем екстремних водених таласа.



Сл. 28. Положај речног тока Јужне Мораве на сектору II (1924-2021)

Важно је истаћи постојање још једног типског меандра низводније, који се директно надовезује на М3 (Сл. 28). Управо се заједнички развој два меандра могао окарактерисати као најдинамичнији на читавом току Јужне Мораве током периода 1924-2020. године у домену латералне миграције. У најнизводнијем меандру, током дугогодишњег периода изражена је ерозија леве обалске линије, услед чега је дошло до његовог интензивног померања према насељу Тешица. То је захтевало изградњу обалоутврде и учвршћивање леве обале у сврху даљег спречавања њеног урушавања. Међутим, како је утицај процеса на обалу и даље био снажан (посебно након јачих водених таласа 2015. и 2018. године), 2018. године је извршена регулација, те је меандар пресечен. Три године након изведене регулације утврђено је да то није трајно решење с обзиром на поновну еродибилну активност новоформираног речног корита. Због антропогених активности и спроведених регулационих радова овај меандар није узет као истраживачки за потребе овог истраживања, али с обзиром на његов близак положај са М3 биће анализирана њихова условљеност и повезаност.

Анализирајући положај М3 кроз различите временске интервале, коришћењем објашњених метода, извршено је квантификовање података о латералном кретању линије речне обале и трансформацији меандарских морфометријских показатеља. На основу приказане еволуције сектора током 97-годишњег периода (Сл. 28) може се констатовати да је реч о латерално нестабилној деоници тока, са континуалним померањем.

Годишњи интензитет померања М3, у периоду од 97-година и појединачно по временским интервалима посебно је назначен у Таб. 13. Максимална стопа латералне миграције износи **667,8 m у периоду 1924-2020. година**, док просечна стопа максималне миграције меандра износи **6,9 m/god**. У односу на претходно анализирана два меандра регистрован је већи

интензитет латералног померања обала (повећање за чак 77% у односу на М1 и 17,3% у односу на М2). Интензитет бочног померања у првом делу истраживаног циклуса (1924-1969) имао је знатно више вредности – апсолутна максимална миграциона стопа износила је 544 m или 11,9 m/god што представља скоро дупло виша вредност у односу на просечну за читав истраживани период. У том контексту посебно треба издвојити период 1960-1969. година када је интензитет достигао апсолутни максимум и у периоду од свега девет година износио **29 m/god**. Стабилнији период у оквиру прве фазе представља онај који обухвата првих 15 година (1924-1938) када је годишња стопа максималног померања износила 4,7 m/god, док се период између (1939-1960) такође одликује изразито високим стопама латералне миграције (9,6 m/god). Посматрајући вредности максималног померања по временским интервалима дуж једног репрезентативног профила којег одликује максимална стопа померања за читав период, могу се увидети нешто ниже вредности просечне максималне миграције – први период (1,95 m/god) и трећи период (25,6 m/god), док је код другог периода поменута вредност готово двоструко нижа и износи 4,6 m/god. *Регистрована несразмерност поново потврђује хипотезу да процес померања обалских линија нема исте вредности дуж сваког сегментног дела меандра.*

Наредну 51 годину (1970-2020) одликује интензитет максималног померања од 343,6 m од којег је у последњих 10 година регистровано чак 53%. Динамика нижег интензитета померања речних обала карактерише период од 1970. до 2000. године са просечном годишњом стопом латералног померања од 2,6 m/god, што је у складу и са претходно анализираним деоницама. Након тог периода интензитет се повећава током деценије 2001-2010. година (5,0 m/god на одабраном профилу или 8,7 m/god посматрајући апсолутни временски максимум) да би максимум достигао у последњем периоду када је регистрована вредност од 20,2 m/god. *Резултат указује на поновну фазу интензивирања процеса посматраног речног сектора. Наведен податак је заиста импозантан узимајући у обзир раније објашњене морфометријске и физичко-географске одлике сектора.*

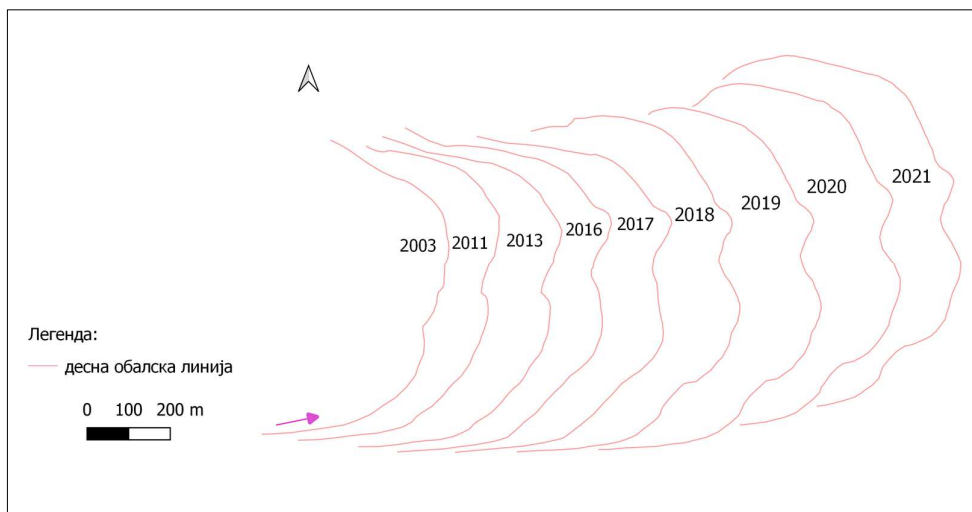
У циљу јаснијег приказивања добијених квантитативних резултата у вези са латералним померањем речног тока, осим максималних и просечних годишњих максималних вредности, дате су и вредности апсолутних максимума. Наиме, првобитне вредности добијене су на основу повлачења профила на сваких 50 m речног тока, а за приказ резултата изабран је профил који је садржао највећу стопу латералне миграције за читав истраживани период (667,8 m). Међутим, то нужно не значи да је у сваком истраживаном периоду најактивнија била латерална миграција на референтном профилу. Из тог разлога у Таб. 13 дате су и вредности апсолутних максимума за дату временску секвенцу. Посматрајући податке могу се увидети изразита одступања између два показатеља по периодима 1939-1960. године (53%), 1924-1938. (59%) и 2001-2010. (42%) у корист апсолутних вредности. На овакав начин диференцирани резултати указују на комплексни еволутивни развој М3.

Таб. 13. Вредности максималне и просечне латералне миграције, индекса синусоидности М3(СИ) током периода 1924-2020. године

| Период | Број година | M_{\max} (m) | AM_{\max} (m/god) | M_{\max} (ап.) | AM_{\max} (ап.) | Год. | L (km) | SI |
|------------|-------------|----------------|---------------------|------------------|-------------------|-------|---------|------|
| 1924-1938 | 15 | 29,3 | 1,9 | 71,2 | 4,7 | 1924. | 1.035,9 | 1,03 |
| 1939-1960 | 22 | 101,5 | 4,6 | 212,3 | 9,6 | 1938. | 1.091,1 | 1,09 |
| 1961-1969 | 9 | 230,1 | 25,6 | 261,3 | 29,0 | 1960. | 1.375,1 | 1,56 |
| 1970-1988 | 19 | 35,2 | 1,8 | 45,1 | 2,4 | 1969. | 1.736,2 | 1,64 |
| 1989-2000 | 12 | 25,1 | 2,1 | 33,8 | 2,8 | 1988. | 1.883,1 | 1,68 |
| 2001-2010 | 10 | 50,1 | 5,0 | 87,2 | 8,7 | 2000. | 1.921,5 | 1,71 |
| 2011-2020 | 10 | 171,4 | 17,1 | 202,3 | 20, | 2010. | 1.955 | 1,74 |
| 1924-2020. | 97 | 667,8 | 6,9 | 667,8 | 6,9 | 2020. | 2.122 | 1,81 |

M_{\max} – максимална латерална миграција (m); AM_{\max} – просечна максимална латерална миграција (m/god); M_{\max} (ап.) – апсолутна максимална латерална миграција; AM_{\max} (ап.) – апсолутна просечна латерална миграција; L – дужина (km); SI – индекс синусоидности

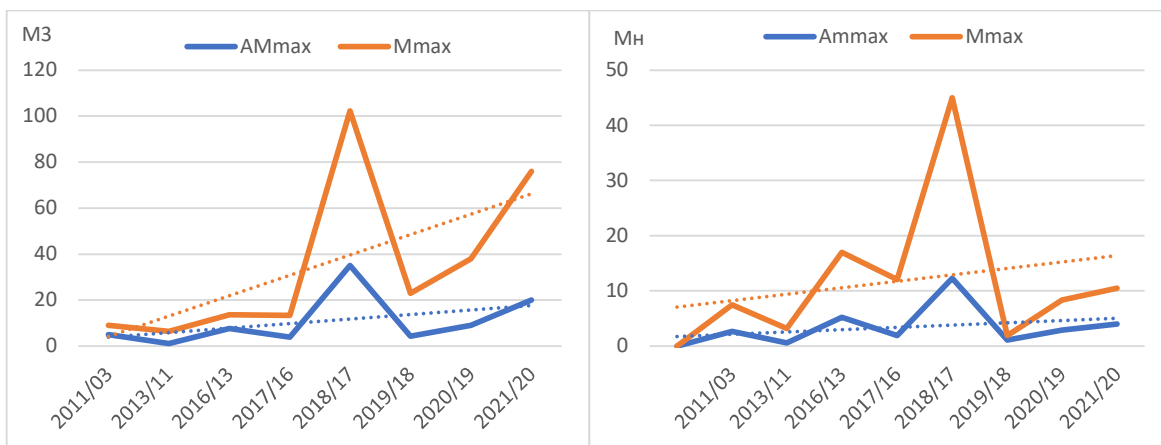
С обзиром на детектовано повећање интензитета померања обала у последњих 15 година, као и у прва два случаја, детаљније је анализирана динамика М3 у датом временском циклусу. Из тог разлога приложен је графички приказ (Сл. 29) који обухвата компаративно представљање десне (спољне) обалске линије како би се лакше уочили сви њени деформитети у периоду 2003-2021. година. На основу девет издвојених временских пресека и квантификовања вредности максималне и просечне стопе латералног померања могу се донети одређени закључци и основа за касније проучавање рецентности процеса. Три су кључна периода која треба издвојити: 2013-2016., 2017-2018. и 2020-2021. година када су регистроване највеће стопе интензитета процеса. На Сл. 30 су у циљу концизнијег утврђивања динамике процеса посебно квантификовани и обрађени подаци за два сегмента меандарске кривине (севернијег и јужнијег) јер се интензитет померања битно разликује. Максимална просечна стопа латералне миграције М2 регистрована је у циклусу 2018/17 када је вредност износила **рекордних 102,3 m** (у низводнијем сегменту) **и 45 m** (у узводнијем). Оваква карактеристика латералног померања у периоду од свега годину дана утицала је на измену положаја обалске линије и повећање њеног деформитета, што се може уочити и на Сл. 29; северни део меандра добија на већој синусоидности. Поред тога, почев од 2013. године видљива је појава одступања од правилног развоја некада компактног меандра тиме што се он диференцира на три мање меандарске кривине. Централна кривина се одликује најмањом стопом померања, узводнија постојаном, али ниском стопом, док је низводнији део данас ерозивно најактивнија деоница читавог тока Јужне Мораве. Други период који је потребно истаћи је 2020-2021. година када поново можемо уочити висок интензитет померања обала у севернијем делу (78 m/god), о којем ће бити више речи након детаљне анализе периода теренских истраживања 2019-2021. година. Оно што је интересантно истаћи је другачије напредовање процеса ерозије обала у датом периоду код јужнијег дела меандра. Након изразитог периода 2018/17 на другом месту је период 2016/13 када је регистрована вредност просечног максималног померања од 17 m/god. Иако је и у овом сегменту видљив пораст интензитета у финалним годинама, он је знатно нижи у односу на неке раније етапе. У том контексту закључује се да су различити фактори утицали на интензивирање или стагнирање процеса ерозије обала на два дела једног истог меандра, са посебним акцентом на тип вегетационог покривача.



Сл. 29. Компаративни приказ деформације десне обалске линије М3 (2003-2021)

Посматрањем дужине десне обалске линије може се утврдити да је повећање њене вредности са 1,35 km (2003. године) на 1,96 km (2021. године), односно повећање за чак 70%. Од тога поново посебно треба издвојити период 2017-2018. године када је утврђено за свега годину дана повећање од 15%. Поред вредности максималног померања, на Сл. 29 приказане су и вредности просечног померања које су добијене сабирањем максималних вредности померања свих профила и дељењем са њиховим бројем. Након свих резултата на крају се може

констатовати постојање доминантно растућег тренда вредности максималног латералног померања и просечног максималног латералног померања у северном делу меандра и умерено растућег до слабо растућег тренда истих вредност на јужном делу.



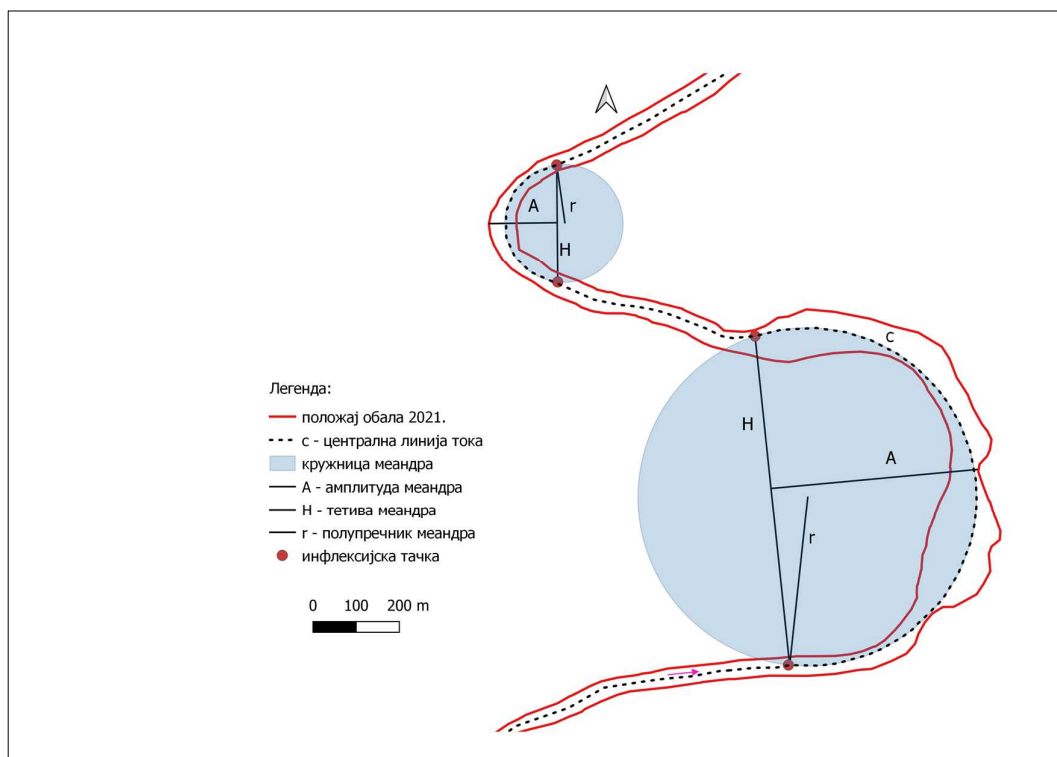
Сл. 30. Динамика максималног и просечног максималног латералног померања обала М3 и Мн (2003-2021)

У даљем разматрању просторно-временске динамике М3 биће анализирано рецентно стање основних морфометријских карактеристика тока у циљу бољег објашњења утицаја процеса латералне миграције на изглед речне трасе Јужне Мораве. Из тог разлога су на Сл. 31 графички представљене основине морфометријске карактеристике М3 у рецентном стању (почетак 2021. године). Међутим, у циљу стицања опште слике морфодинамике тока Јужне Мораве, у проучаваном сегменту тока исти прорачуни урађени су и за први низводнији меандар. На М3, 2020. године вредност просечне ширине корита износи 72,3 m, а максималне чак 170 m. Скоро 2,5 пута виша вредност максималне од просечне ширине корита указује на асиметричност изгледа речне трасе Јужне Мораве на краткој речној километражи. Вршећи компарацију са претходним меандрима који су обрађени, а који се налазе свега неколико km низводније, можемо увидети да М3 има за 25% вишу вредност максималне ширине, док је вредност просечне ширине корита виша за неколико процената. Овакви резултати указују на високу варијацију екстремних вредности ширине тока, али изузев њих просечне вредности се крећу у сличном вредносном домену. Поменути резултати су у складу и са студијом Института Јарослав Черни која је истраживање базирала на подацима добијеним рекогносцирањем терена средином прве деценије 21. века (IV „Jaroslav Černi“, 2005). Остали морфометријски индикатори показују очекиване вредности – амплитуда 484 m, дужина тетиве 1.050 m, а полупречник меандра 538 m.

Просечна ширина корита квантификована проналажењем аритметичке средине свих повучених профила на 50 m тока показује већа одступања код М1 у односу на М2. Разлог томе је знатно испупчен врх М1 од остатка, те је вредност максималне ширине на потезу око врха меандра знатно виша у односу на просечне. М1 одликују следеће вредности основних параметара – амплитуда 127,5 m, тетива 337,3 m, а полупречник меандарске кружнице има вредност 204 m. Код М2 присутне су сличне вредности тетиве и полупречника меандра, док је због нешто мање закривљености вредност амплитуде за 15% мања и износи 108,5 m. Због поменутих разлика, вредност индекса елиптицитета или индекса меандрирања има вишу вредност код М2 (3,47) у односу на М1 (2,64).

Ток Јужне Мораве се на два суседна меандра одликује различитим вредностима основних геометријских карактеристика што се посебно види посматрајући показатељ максималне ширине корита – W_{max} код М3 износи 170 m, док код низводног (Мн) има вредност од 64 m (готово три пута нижу). Код просечне ширине речног корита постоје утврђене разлике између

добијених вредности обе меандарске кривине, али је одступање знатно нише (27% виша вредност код М3). Основни разлог појаве значајних диспаритета између вредности максималне и просечне ширине корита је у неравномерно израженом процесу ерозије обала и латералног померања речног тока. Вредности осталих морфометријских параметра М3 су знатно више у односу на низводни меандар посматрајући савремено стање – у просеку за око 65% посматрајући полупречник меандра, дужину тетиве и амплитуде. Међутим, због мањих разлика које постоје између вредности Н и А код Мн регистрована је виша вредност индекса меандрирања од 2,37, наспрам М3 код којег је идентификована вредност од 2,17. У циљу свеобухватнијег сагледавања проблематике прорачуна МН за све морфометријске показатеље, потребно је имати у виду да је реч о вештачки формираном сектору који је настао након 2018. године. Од 2018. године процесом ерозије обала новоформираног речног тока сви његови параметри увећани (посебно индекс меандрирања и индекс синусоидности).



Сл. 31. Основне морфометријске карактеристике М3 и Мн према рецентном стању (2021)

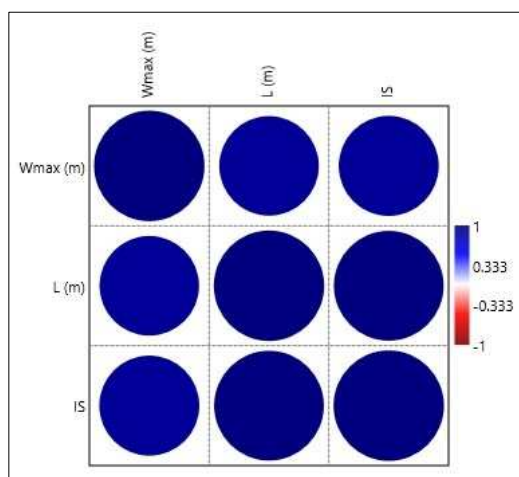
У другој фази извршена је компаративна анализа неких од најзначајнијих морфометријских показатеља оба меандра у два временска пресека (2010. и 2020.). Добијени подаци приложени су у Таб. 14 и указују на постојање значајних измена свих проучаваних параметара током десет година. Максимална ширина М3 је у периоду од десет година повећана за 33%, док је посматрајући период 2003-2020. године увећање износило чак 62,9% (са 61,3 m на 170 m). Међутим, у истом периоду раст просечне ширине корита износио је свега 12% што поново потврђује чињеницу о екстремним латералним трендовима одређених деоница тока. Са друге стране, код низводнијег меандра није било значајнијих повећања просечне и максималне ширине тока, већ је све у границама нормалних вредности. Регистрован интензитет промене максималне ширине корита у одређеним деоницама тока има за последицу смањење овлаженог профила (умањење дубине реке), појаву плићака и често формирање спрудова у централним деловима корита. Управо такав процес је постојан и на М3, вршећи поређење изгледа трасе из 2003 и 2020. године. Вредност амплитуде увећана је за десет година за 28%, а дужине тетиве за 21%. Високе осцилације у вредностима полупречника меандарске кружнице и таласне дужине меандра нису регистроване у датом периоду.

Таб. 14. Вредности основних морфометријских карактеристика МЗ и Мн 2021. године

| | Год. | W_{\max} (m) | W_{sr} (m) | A (m) | H (m) | Ie | R (m) | λ (m) | L (m) |
|------|-------|----------------|--------------|-------|-------|------|-------|---------------|-------|
| МЗ | 2010. | 115 | 62 | 348 | 810 | 2,32 | 493 | 1.820 | 1.188 |
| | 2021. | 170 | 72,3 | 484 | 1.050 | 2,17 | 538 | 1.859 | 1.590 |
| М(н) | 2010. | 51,2 | 44,5 | 231 | 512 | 2,21 | 263 | 1.883 | 862 |
| | 2021. | 64 | 52,5 | 157 | 373 | 2,37 | 183 | 2.118 | 489 |

W_{\max} (m) – максимална ширина тока; W_{sr} (m) – просечна ширина тока; A (m) – амплитуда; H (m) – тетива; Ie – индекс меандрирања; R (m) – полупречник меандарске кружнице; λ (m) – таласна дужина меандра; L (m) – централна дужина тока.

Као код претходних меандара, финални део овог сегмента истраживања обухватио је формирање корелационе матрице (Сл. 32) између три одабрана морфометријска показатеља (максимална ширина, дужина и индекс синусоидности), чији су подаци квантификовани за свих десет доступних година (2003-2021). Резултати су указали на постојање веома високе корелативности између свих параметара МЗ. Наиме, вредности добијених коефицијената се крећу у распону од 0,88 (између индекса синусоидности и максималне ширине тока) до чак 0,99 (дужина и индекс синусоидности). Према томе, измена (у овом случају повећање) вредности једног морфометријског показатеља прати повећање другог у обиму од 94% у просеку. С обзиром на претходно објашњен еволутивни развој меандра у 21. веку и законитостима по којима се развој диктира, добијени резултати корелације нису изненађујући, већ очекивани и оправдани.



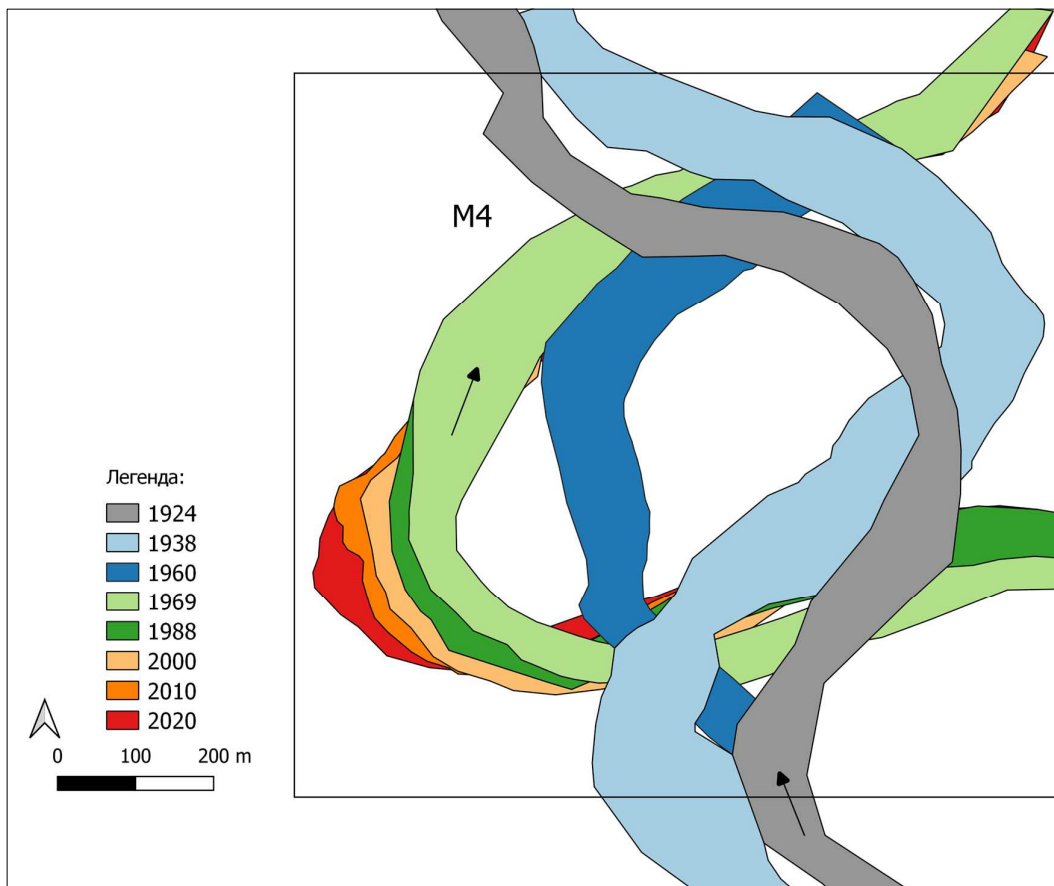
Сл. 32. Корелациона матрица параметара максималне ширине, дужине и индекса синусоидности МЗ (2003-2021)

6.3. Просторно-временска динамика процеса латералног померања обала - сектор III

Истраживачки сектор III тока Јужне Мораве, просторно размештен неколико километара узводније од претходног, карактерише се интензивном морфодинамиком са јасно издвојеним периодима јачег и слабијег дејства проучаваних процеса. Локални физичко-географски услови сектора III разликују се у односу на претходне деонице што може довести до измена у варијацијама вредности показатеља по одређеним временским секвенцама. Осим бочне миграције речног тока и ерозије обала која је присутна у истраживаном периоду од 97 година, на основу анализе доступних картографских прилога и текстуалне документације видљиве су и природне измене трасе меандра, пробијања нових речних рукаваца. Под утицајем екстремних фебруарских протицаја карактеристичних за период 1950-их година и стварања ледених брана (нагомилавањем санти леда у меандарским појасевима) често је Јужна Морава алтернативно пробијала речне канале како би вода могла отицати. Идеални услови за настанак ледених поплава представљају широке алувијалне равни, посебно у сегментима где

доминирају акумулативне флувијалне творевине (спрудови, меандарски ожиљци, мртваје) и обалско-ритска вегетација. Као пример претходно наведеног је и траса корита регистрована 1960. године (Сл. 33), чија локација није условљена процесом ерозије речних обала. *Иако постоји вероватноћа да је један сегмент простора између положаја трасе из 1938. и 1960. године деградиран, докази о положају вегетацијских појасева, локацијама пољопривредних парцела и доступним изворима литературе о честом лутању тока Јужне Мораве након екстремних хидролошких догађаја иду у прилог процесу пробијања новог речног корита.* Свакако, у поменутом временском пресеку (1938. година) ерозија обала регистрована је на врху меандра, што је била иницијална фаза која је условила касније пробијање врха и усецање новог речног корита уоченог 1960. године.

У последњих 50 година на простору истраживаног сектора регистрован је један доминантан М4. Међутим, посматрањем периода пре 1960. године можемо увидети постојање две меандарске кривине са леве и десне стране у оквиру овог подручја. Константно еродовање и бочно усецање условило је померање тока не само на одговарајућу страну, већ и у правцу низводно од првобитног положаја. Из тог разлога је проучавани меандар у току еволуције померен према северозападу, док је десна меандарска кривина, присутна у пресецима 1924. и 1938. године, померена према североистоку. Посматрајући ширу слику тока Јужне Мораве можемо констатовати да је реч о веома нестабилној деоници тока у ранијој етапи еволутивног развоја која почиње од ушћа реке Нишаве и пружа се до почетка села Тешица (Сл. 12).



Сл. 33. Положај речног тока Јужне Мораве на сектору III (1924-2021)

На основу квантификовања процеса латералног померања тока Јужне Мораве на локалитету М3 (чији су резултати приложени у Таб. 15) можемо утврдити постојање високог интензитета бочног померања што је интегрисано у вредност максималне латералне миграције **од 617,3 m/god у периоду од 97 година или 6,7 m/god**. Слично као и код примера других меандара и код М4 постоје одређене законитости развоја, анализирајући према индивидуалним периодима.

Готово 75% свеукупне латерално-миграторне активности меандра 4 извршена је током периода 1924-1969. године, односно током првих 46 година. Максимална вредност латералне миграције репрезентативног профила је тада износила 465,8 m или 10,1 m/god, док је сума вредности апсолутних максимума прва три периода била чак 562 m или 12,2 m/god. *Овакво високе вредности последица су интензивно-осцилирајућих вредности природних фактора, али и географских услова самог истраживаног подручја; у ранијим историјским етапама река је у овом сектору често мењала свој ток и пружала се и до један километар даље од данашње локације па је заостала знатна површина меандарских оживиљака. Висина спрудова није изразита (уколико нису антропогеним путем измењени у циљу стварања и коришћења земљишта), те га речни ток и мање снаге може лако и брзо деградирати. На основу увида у старе катастарске карте може се закључити да је управо у појасу између трасе тока Јужне Мораве у периоду 1924-1969. године била велика површина под поменутиим земљиштем.*

У првом појединачном периоду истраживања (1924-1938) (Таб. 15) апсолутна максимална вредност латералне миграције износила је 155,1 m или 10,3 m/god. На Сл. 33 је јасно уочљиво померање врха меандра у датом периоду. Иако је раније напоменуто да је траса тока из 1960. године продукт усецања корита без нужности бочног померања врха меандра, наглашено је и да најјужнији део јесте латерално мигрирао. Реч је о наставку правца померања из раније етапе. У периоду 1939-1960. године достигнута је апсолутна вредност максималне латералне миграције од 168 m или као у претходном периоду истих 10,34 m/god. Након тога, у наредних девет година наступа период великог интензитета померања о чему сведочи податак о просечној максималној латералној миграцији који је износио 26,6 m/god (или укупно 239 m). *То би представљало чак 31% читаве латералне активности меандра у периоду од готово 100 година. С обзиром да је на свим претходно обрађеним секторима у периоду 1961-1969. године регистровано највеће просечно максимално померање обала, овакав податак је оправдан и за овај меандар. У ту сврху ће, током објашњавања и анализе узрока анализираниог процеса, посебно бити осврта на овај период.* Посматрајући вредности максималне латералне миграције прве фазе на репрезентативном профилу, може се закључити да је једина значајнија разлика дупло нижа вредност померања у првом периоду у односу на апсолутни максимум.

Други временски оквир 1970-2020. године одликује знатно нижи интензитет померања обала, са одређеним специфичностима у зависности од временског интервала. Максимална стопа латералног померања репрезентативног профила износила је 147,3 m за период од 51 годину (2,88 m/god) или око 24% миграторне активности, гледајући на целокупан период осматрања (Таб. 15). Сума вредности апсолутних максимума показује нешто више вредности од 161,5 m или 3,16 m/god. Квантификоване вредности процеса у првом периоду другог циклуса 1970-1888. године показују осетно ниже вредности у односу на раније са 2,1 m/god померања, док је наредног периода 1989-2000. године вредност незнатно виша и износи 2,5 m/god. По одређеној правилности из ранијих примера очекиван је пораст интензитета у првој деценији 20. века, и још значајније повећање у последњих 10 година. Међутим, са вредношћу просечног максималног померања од 2,71 m/god у периоду 2001-2010. године очекивани пораст је изостао. У последњем периоду регистроване су три пута више вредности у односу на претходни (77,5 m или 7,5 m/god) што указује на поновно активирање развоја меандра. Ипак, добијени податак указује на много мањи процентуални раст интензитета процеса последњег периода у односу на ранији. *Због чега процес није интензиван у већем обиму, и због чега је у периоду 2001-2010. године регистрована стагнација у померању обале? Одговор на ово питање ће бити образложен у поглављу о узроцима процеса.*

Још једна важна карактеристика ове меандарске кривине представља изразито висока вредност индекса синусоидности. Наиме, она се у току 97-годишњег периода истраживања кретала у распону од 1,14 (1960. године) до чак 1,77 (2020. године). По класификацији која је објашњена у теоријско-методолошком делу рада сектор тока са вредношћу индекса синусоидности од 1,77 се може окарактерисати као изразито меандрирајући. Једини одступајући период је 1960. година када је, из пређашње описаних разлога (пробијања

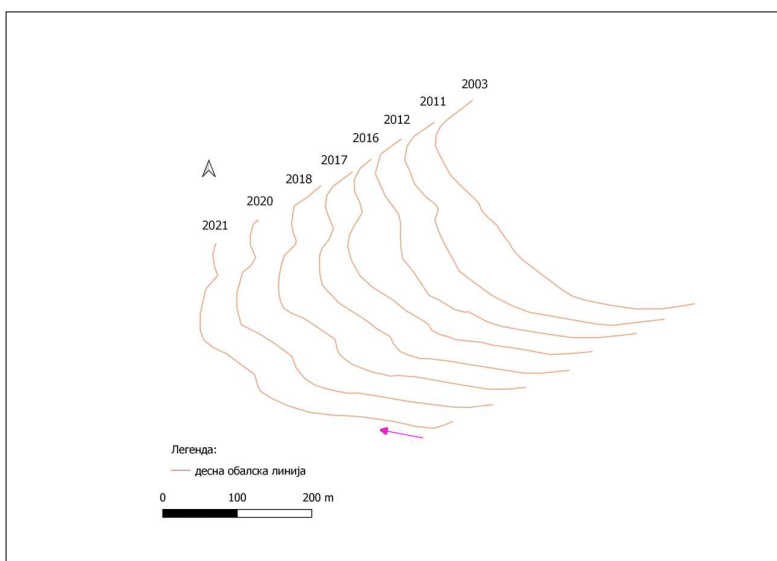
меандра), извршена његова стабилизација у контексту даље извијуганости. Дужина Јужне Мораве у границама проучаваног сектора кретала се у распону од 0,99 km до 1,36 km, што представља флукуацију од 37,3%.

Таб. 15. Вредности максималне и просечне латералне миграције и индекса синусоидности М4 (СIII) (1924-2021)

| Период | Број година | M_{\max} (m) | AM_{\max} (m/god) | M_{\max} (ап.) | AM_{\max} (ап.) | Год. | L (km) | SI |
|------------|-------------|----------------|---------------------|------------------|-------------------|-------|--------|------|
| 1924-1938. | 15 | 67,4 | 4,5 | 155,1 | 10,3 | 1924. | 1.237 | 1,3 |
| 1939-1960. | 22 | 167,8 | 7,6 | 167,8 | 10,3 | 1938. | 1.365 | 1,24 |
| 1961-1969. | 9 | 230,6 | 25,6 | 239,1 | 26,6 | 1960. | 991 | 1,14 |
| 1970-1988. | 19 | 39,4 | 2,1 | 40,1 | 2,1 | 1969. | 1.063 | 1,43 |
| 1989-2000. | 12 | 30,5 | 2,5 | 32,1 | 2,7 | 1988. | 1.254 | 1,44 |
| 2001-2010. | 10 | 16,8 | 1,7 | 27,1 | 2,7 | 2000. | 1.271 | 1,47 |
| 2011-2020. | 10 | 60,6 | 6,1 | 77,5 | 7,7 | 2010. | 1.279 | 1,52 |
| 1924-2020. | 97 | 617,3 | 6,4 | 617,3 | 6,4 | 2020. | 1.363 | 1,77 |

M_{\max} – максимална латерална миграција (m); AM_{\max} – просечна максимална латерална миграција (m/god); M_{\max} (ап.) – апсолутна максимална латерална миграција; AM_{\max} (ап.) – апсолутна просечна латерална миграција; L – дужина (km); SI – индекс синусоидности

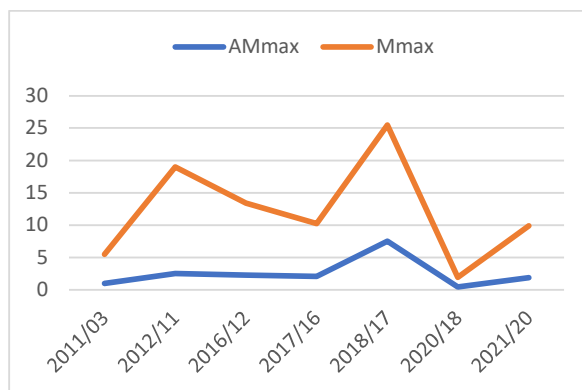
По узору на претходне референтне секторе извршена је детаљна анализа савременог периода. Период који је узет у обзир је 2003-2021. година, али су године у којима је вршен временски пресек различите и обухватају 2003., 2011., 2012., 2016., 2017., 2018., 2020., и 2021. годину (Сл. 33). Након квантификовања свих вредности и њиховог представљања закључци су да је највећи интензитет померања регистрован у периоду 2018/17 са вредношћу максималне миграције од 25,2 m/god, односно вредношћу просечне миграције од 7,2 m/god. Након тога следи период 2012/11 са 18 m/god, док су на трећем месту, са истом вредношћу од 10 m/god, периоди 2017/16 и 2021/20. година. На приложеном графикону (Сл. 34) се може запазити и јако ниска вредност просечне максималне миграције у првом сегменту од 2003 до 2011. године, што је у складу са претходно добијеним резултатима из Таб. 15, али у супротности са подацима о померањима свих низводнијих меандара у датом периоду. Такође по први пут регистрован је стагнантни тренд вредности просечне миграције меандра и чак благо опадајући тренд вредности максималне миграције тока за читав савремени период (2000-2020).



Сл. 34. Компаративни приказ деформације леве обалске линије М3 (2003-2021)

С обзиром на постојање ниже флукуације интензитета латералног померања обале, на Сл. 34 нису у довољној мери уочљиви деформитети обалске линије као у претходним случајевима.

На поменутом приказу графички је представљена лева обалска линија кроз осам временских пресека. Једина одступања од иницијалне линије регистровано су у низводном и централном делу меандра (у контексту повећања извијуганости) где је од 2016. године идентификовано закривљење. Оно се претходно утврђеним интензитетом повећава идући према финалној години. На осталим сегментима нису забележене битније деформације у изгледу обалске линије.



Сл. 35. Динамика максималног и просечног максималног латералног померања обала М4 (2003-2021)

Одређивањем морфометријских карактеристика рецентног стања М4 указује се на постојање одређених различитости у односу на претходне. Наиме, реч је о ужој меандарској кривини са дупло мањом дужином тетиве меандра у односу на низводнији меандар код Тешице (Сл. 36). Дужина тетиве меандра износи 346 m, док је вредност амплитуде 167 m. Међутим, због правилног односа претходна два показатеља индекс елиптицитета има умерену вредност од 2,06. Посматрајући податке истих параметара из 2010. године могу се увидети одређене разлике у контексту њихових нешто виших вредности. Овако запажање посебно долази до изражаја код полупречника круга меандра који је смањен за 17% у периоду од 10 година (са 190 m на 158 m). Код оваквог типа меандра интензитет ерозивног процеса и латералног померања су у односу обрнуте пропорционалности са поменути показатељима. Што се више теме меандра продубљује у томе му се ширина и полупречник смањују. Насупрот томе, под утицајем истог процеса дошло је до повећања таласне дужине меандра, односно удаљеност између два суседна меандра увећана је за 5,9% (Таб. 16).

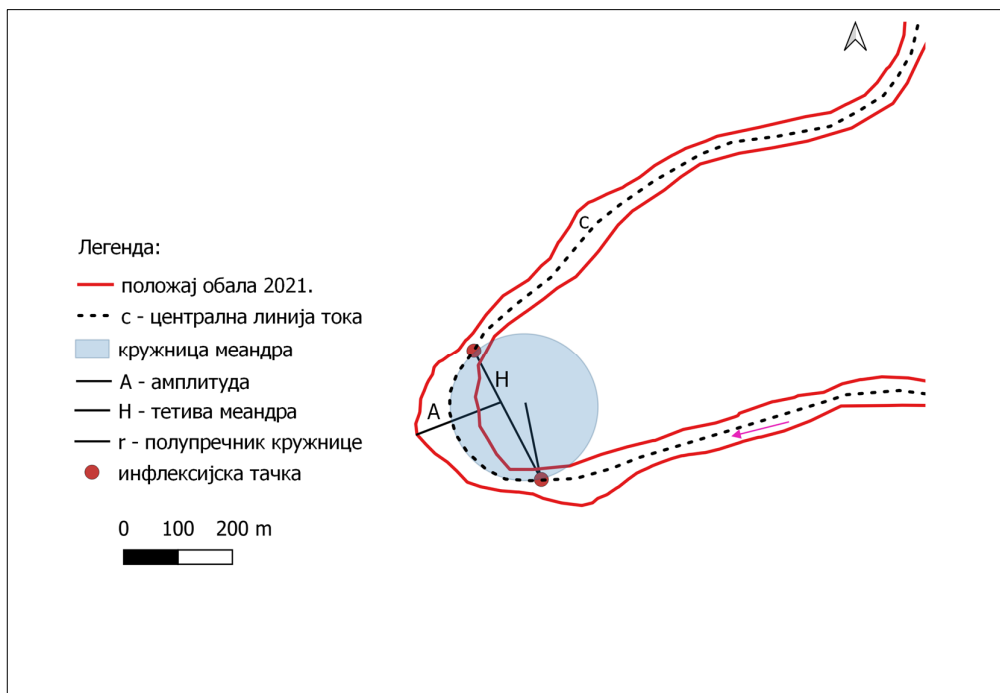
Таб. 16. Вредности основних морфометријских карактеристика М4 2010. и 2021. године

| | Год. | W_{max} (m) | W_{sr} (m) | A (m) | H (m) | Ie | R (m) | λ (m) | L (m) |
|----|-------|---------------|--------------|-------|-------|------|-------|---------------|-------|
| M4 | 2010. | 57 | 48 | 161 | 362 | 2,25 | 190 | 1.645 | 463 |
| | 2021. | 89 | 59 | 167,5 | 346 | 2,06 | 158 | 1.747 | 462,1 |

W_{max} (m) – максимална ширина тока; W_{sr} (m) – просечна ширина тока; A (m) – амплитуда; H (m) – тетива; Ie – индекс меандрирања; R (m) – полупречник меандарске кружнице; λ (m) – таласна дужина меандра; L (m) – централна дужина тока.

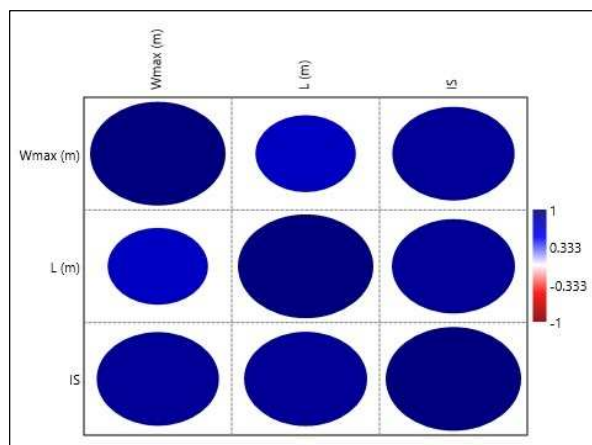
Показатељи просечне и максималне ширине тока су такође претрпеле одређене варијације током истраживаног периода. Као и код претходних меандара, процес проширивања речне трасе је актуелан о чему сведочи и податак да је параметар максималне ширине увећан за око 30% у периоду 2003-2020. године. Највеће повећање датог параметра видљиво је у периоду 2016/15 са 63 m на 76 m, док је пар година након тога уследио период његове стагнације. За разлику од њега важнији показатељ који указује на морфометријске карактеристике одређене деонице тока - средња ширина, није доживела изразите промене, већ се оне налазе у неком карактеристичном оптимуму. Један од показатеља који такође упућује на нешто стабилнији развој деонице у последње две деценије је и дужина централне линије меандра. Она је увећана за 9,1% посматрајући интервал 2003-2021. година, односно са 425 m на 469 m. Иако постојано и евидентирано, овакво увећање не представља посебно значајан доказ морфодинамике М4.

Индекс синусоидности М4 има значајне вредности, те се он може класификовати као меандрирајући сектор у свим временским пресецима. Вредност индекса варирала је од 1,20 (2003. године) до 1,31 (2021. године).



Сл. 36. Основне морфометријске карактеристике М4 према рецентном стању (2021)

Резултати спроведене унакрсне корелације (Сл. 37) између показатеља максималне ширине, дужине централне линије меандра и индекса синусоидности указује на постојање високе повезаности са одређеним мањим одступањима. Варијабла која представља индекс синусоидности показује изразито висок корелациони однос са друге две променљиве (вредност коефицијента од 0,9). Мало нижа вредност међусобне условљености утврђена је између променљива ширине и дужине тока јер је утврђен коефицијент износио 0,75, што указује на постојање високе корелације (група од 0,6 до 0,8). Према томе, може се закључити да се изменом вредности једног морфометријског показатеља остала два мењају у домену од 75 до 90%. Одређена одступања која су установљена од идеалне корелације могу бити последица и појаве периода са изразито ниским променама или готово без њих.



Сл. 37. Корелациона матрица параметара максималне ширине, дужине и индекса синусоидности М4 (2003-2021)

6.4. Просторно-временска динамика процеса латералног померања обала - сектор IV

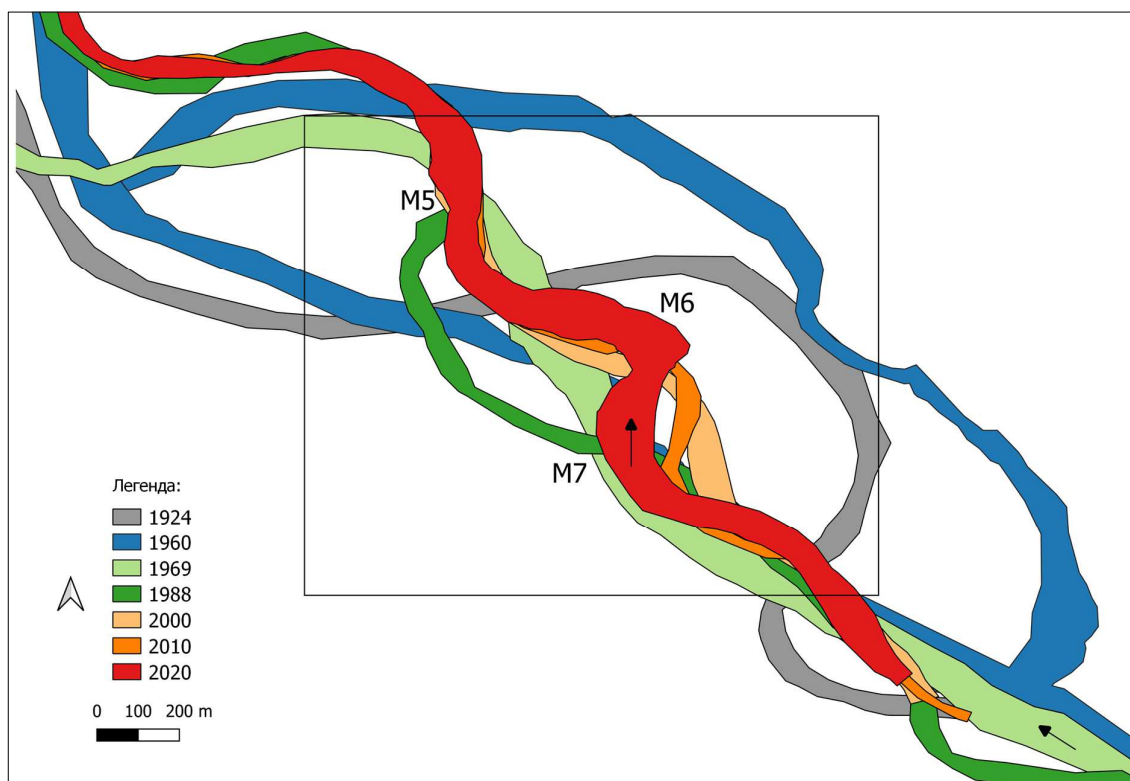
Последњи истраживачки сектор одликује најинтересантнија динамика речних обала од свих посматраних сектора у периоду од 97 година. Истражна деоница речног тока Јужне Мораве протеже се низводно од ушћа Јабланице. Због нерегулисаног речног корита током свих истраживаних периода код села Грданица одликује се разуђеним карактеристикама који у неком сегментом делу прелазе у меандрирајуће делове. Знатно широка алувијална равна, нерегуларан водни режим Јужне Мораве и близина ушћа неколико великих притока које се одликују изразитом нерегуларношћу хидролошких показатеља и појавама екстрема (Јабланица, Ветерница, Власина) утицала су на честе промене положаја обала. У оваквом типично алувијалном делу тока реке, кроз континуирани процес акреације и ерозије, речни ток често мења тип и облик речне трасе који се може изменити и за свега неколико година. Из тог разлога у Таб. 17 вредности процеса померања обала обрачунате су само за период последњих 20 година за који постоји симетричан правац пружања меандарских кривина. За раније периоде које одликује честа промена правца бочног померања и „лутања канала“ биће извршена само квалитативна димензија истраживања. Лутајуће секторе тока карактерише честа измена речне трасе без одређених правилности.

Први картографски извор из 1924. године указује на постојање једне изразите десне меандарске кривине која се пружала готово до самог насеља Грданица (Сл. 38). На приказу из 1894. године може се уочити ток Јужне Мораве, а поред саме обалске линије насеље Грданица. Вредности индекса синусоидности од 1,6 (дужина централне линије тока 1,8 km) указују на високу извијуганост поменутог меандра. Такође, на доступним картама из датог периода могу се увидети више спрудних формација са обе стране тока што указује на честе промене правца и смера латералног померања. За обрађени сектор не постоји картографски извор из 1938. године који би омогућио више материјала за детаљнију анализу развоја меандра у првим годинама дефинисаног периода. У наредном периоду, 1960. године, евидентирани су енормне измене у положају речне трасе. У поменутом временском пресеку дијагностификована су два речна канала – централни који заузима приближан положај савремене трасе Јужне Мораве. Пружа се левим сегментом алувијалне равни и њега одликује широко речно корито. Међутим, ни такав речни канал није компактан већ у узводнијем делу обухвата два рукавца који ограничавају ниско речно острво названо Прудиште (површине 10,53 ha). Други, секундарни канал пружа се десном ивицом алувијалне равни Јужне Мораве, дуж саме језерске терасе на којој је смештено насеље Грданица (Сл. 13). Дужина секундарног канала износи чак 3,56 km, од места раздвајања (700 m узводно од ушћа Јабланице) до места поновног спајања узводно од села Липовица. Читаво подручје које је остало између два рукавца назива се Прудиште и Пруд Пољана што асоцира на постојање нестабилне деонице тока која се карактерише великим акумулацијама наносног материјала у виду спрудова. Према картографском извору из 1969. године уочљиво је постојање само једног централног речног канала, док су делови секундарног канала уочљиви на карти. Према томе, након девет година разлике између два временска пресека секундарни рукавац Јужне Мораве добио је функцију напуштеног речног корита. Вршећи компарацију у периоду 1960-1969. године могу се утврдити одређене измене које се односе пре свега на ситне флукуације речне трасе у јужном делу сектора (око ушћа Јабланице и низводније) и интензивно померање у севернијем делу истраживачке деонице. У том сегменту (низводније од данашњег положаја М5), дужинска разлика између положаја два речна корита износи чак 516 m. На простору исте деонице регистровано је померање главног канала према положају секундарног канала који је у једном делу деонице и наслеђен (Сл. 38).

Посматрајући наредни положај речне трасе из 1988. године (Сл. 38) могу се утврдити поновна нерегуларна „лутања“ речног тока Јужне Мораве на одговарајућем сектору. У узводном делу око ушћа Јабланице поново су видљиве ситне и очекиване флукуације према десној страни, али и даље ток задржава прави или слабо синусоидални карактер речне трасе. На основу приказа на Сл. 37 може се закључити постојање интензивнијег бочног померања (у домену

данашњих меандара 5 и 7) када је дошло до развоја левог меандра. Максимални интензитет латералног померања у том сегменту износио је чак 147 m или 7,7 m/god. Од некадашње готово праве деонице тока дужине 0,85 km, формирана је меандар дужине 1,14 km и индекса синусоидности од 1,26. Настанак новог меандра условило је даљи раст и еродибилну моћ низводнијег раније формираног меандра који је увећао своју миграторну активност за 188,3 m или 9,9 m/god. Сада је у потпуности наслеђено старо корито регистровано на приказу из 1960. године. Основне морфометријске карактеристике меандра из 1988. године износе: 1,23 km (дужина централне линије) и 1,4 (индекс синусоидности). Добијени резултати односа положаја трасе у периоду 1970-1988. године указују на јака померања што није у пуној корелацији са понашањем тока Јужне Мораве у овом периоду након раније објашњених деоница.

Иако су према положају трасе из 1988. године видљиви обриси формирања три меандра која према рецентном стању постоје на истраживаној деоници, њихово пуно обликовање извршено је у наредном временском пресеку 1988-2000. године. Од периода 2000. године почиње симетрично померања издвојених меандара, те су из тог разлога квантификовани прорачуни дати у Таб. 17 само за последња два периода. Пре детаљније анализе наведеног периода, од значаја је напоменути и морфодинамику реке током краја 80-их и 90-их година прошлог века. Најважнија измена односила се на поновно враћање претходно диференцираног меандра према десној обалској линији, односно враћање на положај из 1969. године. Овај податак још једном сведочи о постојању веома нестабилне деонице тока Јужне Мораве где током 30 година имамо регистроване изразите флукуације у положају речне трасе проузроковане спољним факторима (пре свега хидролошким), али и чињеницом да постојање локалних услова омогућава честе промене правца речне ерозије. Низводнији меандар је остао релативно стабилан током периода 1988-2000. године, као што су минималне измене видљиве и на основу положаја трасе из 2010. и 2020. године.



Сл. 38. Положај речног тока Јужне Мораве на сектору IV (1924-2020)

На основу података из Таб. 17 може се донети закључак да најмањи интензитет латералног померања одликује М5. У периоду 2001-2020. године максимална латерална миграција износила је 66,3 m или 3,31 m/god, што за сектор са изразито нестабилном деоницом не

представља значајну промену. Од поменутог броја две трећине миграције обављено је у периоду последњих 10 година (5,43 m/god померање) док је једна трећина карактеристична за прву деценију 21. века (2,35 m/god). За разлику од поменутог, М6 одликује дупло већи интензитет латералног померања о чему сведоче и добијени подаци - максимална стопа померања у периоду од последњих 20 година износи 138,1 m или 6,9 m/god. Као и код претходног М5, највећи део померања извршен је у периоду 2011-2020. године (11,7 m/god), док су ниже стопе померања карактеристичне за период 2001-2010. године када је просечна максимална стопа латералног померања износила 5,71 m/god. За разлику од М5 који врши деградацију леве обалске линије (и приближава се положају корита из 1988. и 1960. године), М6 еродира десну обалу, односно некадашњу површину великог спруда (Прудиште). Тиме се врх меандра приближава насељу Грданица, као и положају корита из 1924. године и секундарног рукавца из 1960. године.

Таб. 17. Вредности максималне и просечне латералне миграције и индекса синусоидности М5, М6 и М7 (1989-2020)

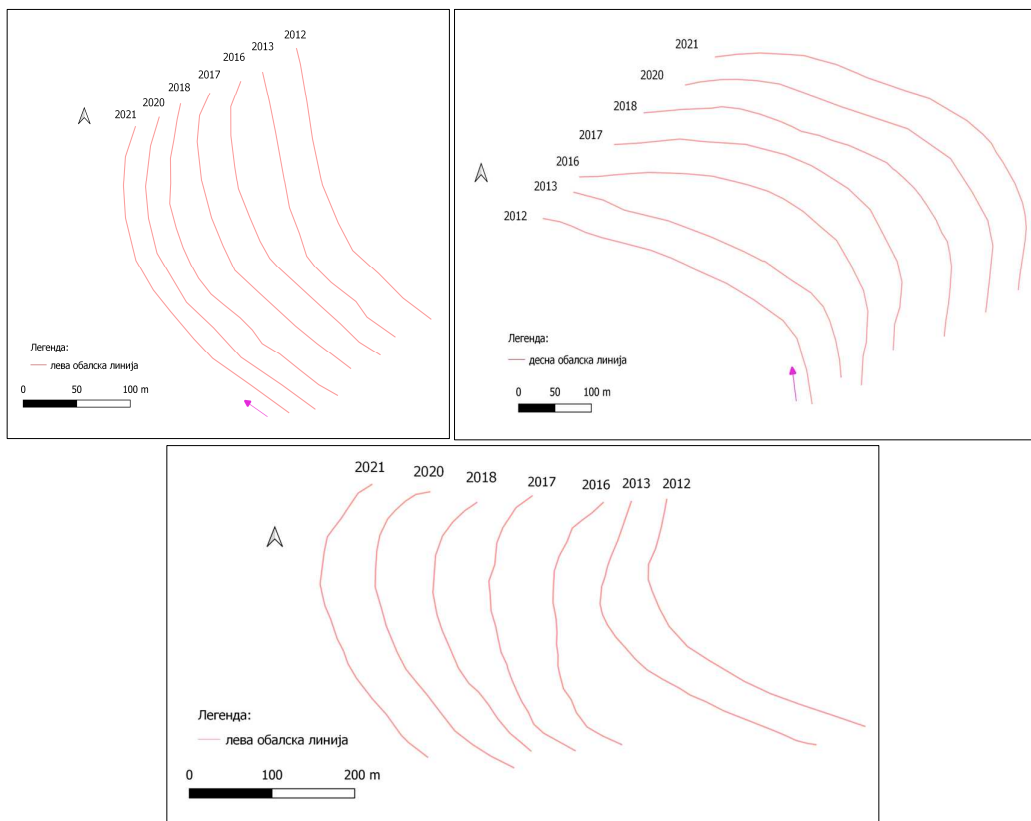
| | Период | Број година | M_{\max} (m) | AM_{\max} (m/god) | M_{\max} (ап.) | AM_{\max} (ап.) | Год. | L (km) | SI |
|----|------------|-------------|----------------|---------------------|------------------|-------------------|-------|--------|------|
| М5 | 2001-2010. | 10 | 23,5 | 2,35 | 24,1 | 2,41 | 2000. | 584,3 | 1,03 |
| | 2011-2020. | 10 | 42,8 | 4,28 | 54,5 | 5,45 | 2010. | 610,2 | 1,04 |
| | 2001-2020. | 20 | 66,3 | 3,31 | 66,3 | 3,31 | 2020. | 652,1 | 1,06 |
| М6 | 2001-2010. | 10 | 48,9 | 4,89 | 57,3 | 5,71 | 2000. | 569,2 | 1,1 |
| | 2011-2020. | 10 | 89,2 | 8,92 | 117,1 | 11,7 | 2010. | 507,3 | 1,16 |
| | 2001-2020. | 20 | 138,1 | 6,905 | 138,1 | 6,905 | 2020. | 338,9 | 1,32 |
| М7 | 1989-2000. | 12 | 14,5 | 1,21 | 14,5 | 1,21 | 1988. | 389 | 1,02 |
| | 2001-2010. | 10 | 106,1 | 10,6 | 110 | 11 | 2000. | 402 | 1,03 |
| | 2011-2020. | 10 | 195,1 | 19,5 | 209,3 | 20,93 | 2010. | 424,1 | 1,1 |
| | 1989-2020. | 32 | 315,7 | 9,86 | 315,7 | 9,86 | 2020. | 535,8 | 1,2 |

M_{\max} – максимална латерална миграција (m); AM_{\max} – просечна максимална латерална миграција (m/god); M_{\max} (ап.) – апсолутна максимална латерална миграција; AM_{\max} (ап.) – апсолутна просечна латерална миграција; L – дужина (km); SI – индекс синусоидности

Најинтензивнији процес латералног померања регистрован је на примеру М7 за који је на основу диференцирања меандра у ранијој временској етапи могуће пратити процес у периоду од 1989 до 2020. године. Регистрована вредност максималног померања износи 315,7 m или 9,86 m/god. Међутим, изразите разлике постоје посматрајући појединачне временске секвенце. У периоду првих 12 година просечна стопа померања износила је свега 1,2 m/god, што је оправдан податак на основу ранијих објашњења динамике поменутог периода. У тој временској одредници ушће реке Јабланице налазило се на врху меандра, па је значајан доток воде њене притоке онемогућавао интензивније померања. Током наредног сегмента 2001-2010. године интензитет померања достиже седам пута више вредности и износи 106,1 m или 10,6 m/god, да би максимум био достигнут у последњих 10 година са вредношћу од чак 20,9 m/god. Измештањем ушћа реке Јабланице 220 m узводније ерозивна моћ Јужне Мораве на датом сектору је још више дошла до изражаја (Таб. 17).

У циљу детаљнијег сагледавања проблематике измене речне трасе у последњих десет година, када су утврђене и највише стопе интензитета процеса бочног померања, сагледани су и међу периоди. На основу доступних ортофото снимака истражног простора параметри максималне и просечне латералне миграције квантификовани су за следеће периоде: 2013/12, 2016/13, 2017/16, 2018/17, 2020/18 и 2021/20. година. Добијени резултати представљени на Сл. 39 указали су на појаву разлика у интензитету процеса како међу меандрима, тако и међу појединачним временским секвенцама. На примеру М5 највећи степен ерозивне активности запажен је стандардно у периоду 2018/17 са вредношћу од 16,2 m/god максималне латералне миграције. Други запажен период обухватио је онај између 2013. и 2016. године са 10 m/god док у осталим периодима нису регистроване значајније промене. Слична ситуација

идентификована је и на примеру М7 са максимумом од чак 70 m/god (2018/17) и секундарним пиком 31 m/god (2016/13). Међутим, код јединог меандра који деградира десну обалску линију постоје одређене разлике. Наиме, у овом случају највиша миграторна активност меандра регистрована је у периоду 2016/13 када је у просеку померање износило 28,4 m/god, док је на другом месту период **2018/17 са 20 m/god**. Посматрајући графиконе (Сл. 40) може се констатовати и да на сва три меандра постоји благи или умерени пораст вредности максималне латералне миграције у последњем периоду, што ће се детаљније обрадити кроз наредно поглавље.

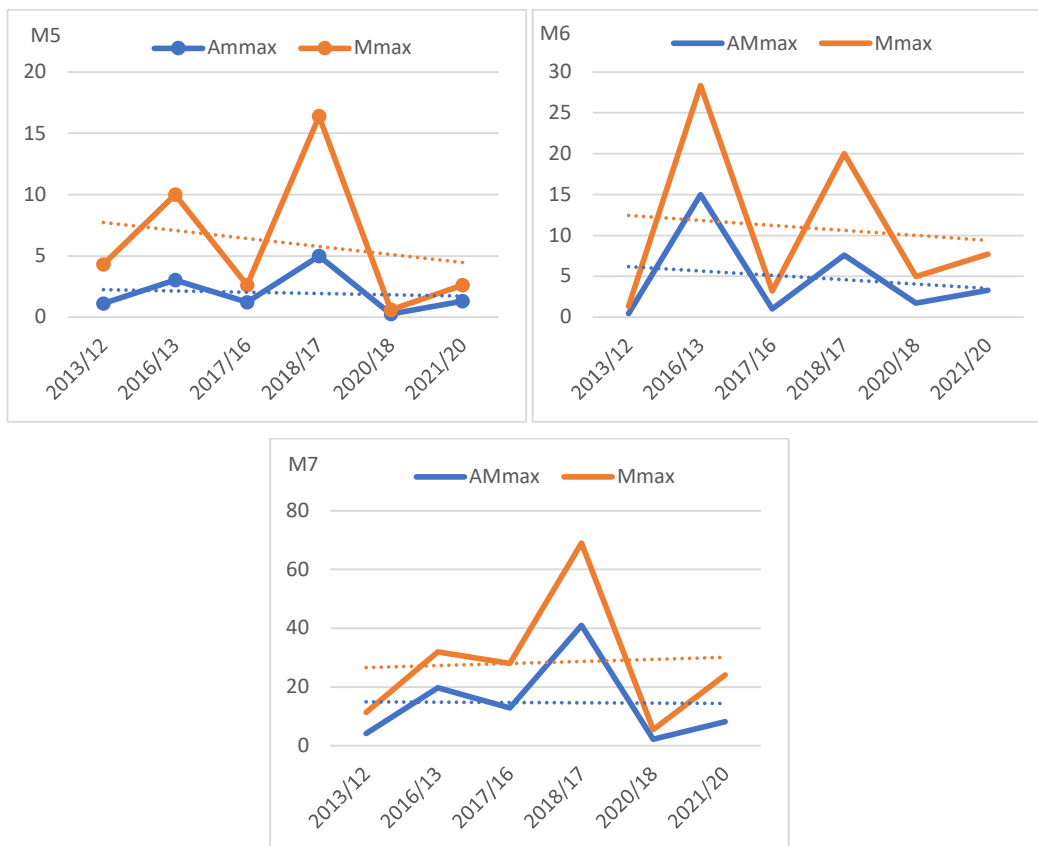


Сл. 39. Компаративни приказ деформације леве обалске линије М5 (горе лево), десне обалске линије М6 (горе десно) и леве обалске линије М7 (доле)

На основу постављене линије линеарног тренда може се регистровати постојање опадајућих вредности максималног и просечног померања тока на М5 и М6 (осим вредности просечног померања М5 који указује на вредност благо опадајућег тренда) (Сл. 40). За разлику од њих на М7 регистрован је благо растући тренд просечног померања и умерено растући тренд вредности максималне латералне миграције. Подаци о правцу тренда кретања вредности параметара умногоме указују на рецентну еволуцију истраживаних сектора тока Јужне Мораве.

У складу са добијеним резултатима су и графички прикази који укључују компаративну анализу облика и правца конкавне обале датих меандара (Сл. 39). Код М5 запажена је готово ниска деформација обалске линије, а повећање дужине тока и индекса синусоидности је минимално. Код десне обалске линије М6 постоји изразитији деформитет узводног сегмента посебно након 2013. године. Међутим, високо одступање обалске линије од иницијалне године (у овом случају 2012. године) идентификовано је на примеру М7. У периоду 2013-2016. године регистрована је рекордна стопа латералне миграције, што је условило високу деформацију леве обалске линије и померање меандра северозападно. У наредним временским интервалима је иста линија све више добила на синусоидности, што је директна последица процеса ерозије обала. На овај процес значајан утицај је имало и просецање најнизовнијег меандра реке

Јабланице чиме је њен ток скраћен и померен узводно за 502 m. Без дотока воде своје притоке и при екстремних хидролошких догађајима који су током 2015. године погодили овај део тока Јужне Мораве извршена је висока стопа ерозије обала што је условило и еродирање некадашњег корита реке Јабланице.



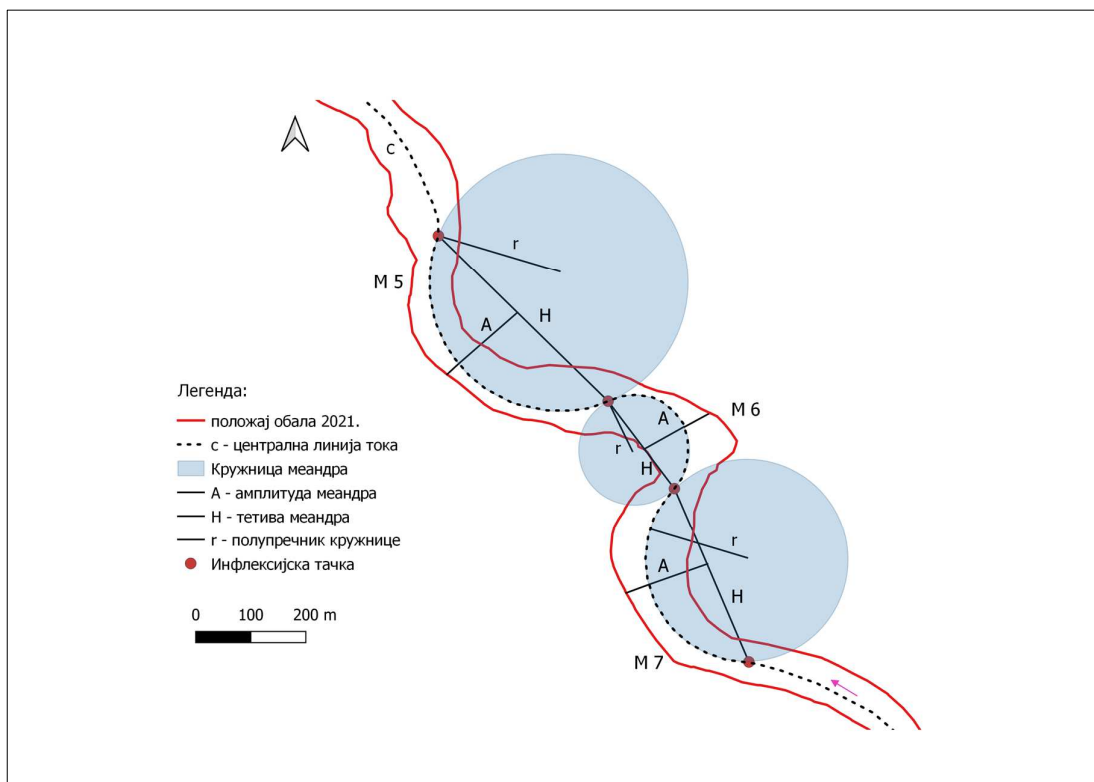
Сл. 40. Динамика максималног и просечног максималног латералног померања обала М5, М6 и М7 (2012-2021)

У циљу регистравања промена вредности најважнијих геометријских карактеристика анализирани су њихови подаци из различитих временских секвенци током последњих 10 година. На Сл. 41 и Таб. 18 представљене су основне геометријске карактеристике последњег истраживаног сектора према стању обала из 2021. године. Највећу дужину централне линије одликује најнизовнији (652,1 m), док најмању има средишњи меандар М6 од 338,9 m. Међутим, да су показатељи дужине меандра и максималне ширине обрнуто пропорционални показује податак да је М6 најшири, са 129,7 m (просечно 99,9 m). Највећи диспарат између амплитуде и тетиве меандра регистрован је код М7, са вредношћу индекса елиптицитета од 2,75. Код М5 исти индекс има вредност од 2,59, док код М6 износи 1,65. Да је у стварности присутан изразито меандрирајући сектор говори податак о таласној дужини меандра. Док се меандри леве стране налазе на удаљености од 644 m, десни М6 има вредност таласне дужине од 898 m. Добијени податак има знатно ниже вредности у односу на све до сада обрађене деонице.

Таб. 18. Вредности основних морфометријских карактеристика М5, М6 и М7 2021. године

| | Год | W_{max} (m) | W_{sr} (m) | A (m) | H (m) | Ie | R (m) | λ (m) | L (m) |
|-----|-------|---------------|--------------|--------|-------|------|-------|---------------|-------|
| М 5 | 2021. | 76,3 | 65,3 | 199,3 | 515,8 | 2,59 | 237,9 | 644,6 | 652,1 |
| М 6 | 2021. | 129,4 | 99,9 | 150,38 | 248,7 | 1,65 | 132,1 | 898,2 | 338,9 |
| М 7 | 2021. | 89,2 | 61,3 | 164,2 | 451,6 | 2,75 | 189,9 | 644,6 | 535,8 |

W_{\max} (m) – максимална ширина тока; W_{sf} (m) – просечна ширина тока; A (m) – амплитуда; H (m) – тетива; Ie – индекс меандрирања; R (m) – полупречник меандарске кружнице; λ (m) – таласна дужина меандра; L (m) – централна дужина тока.

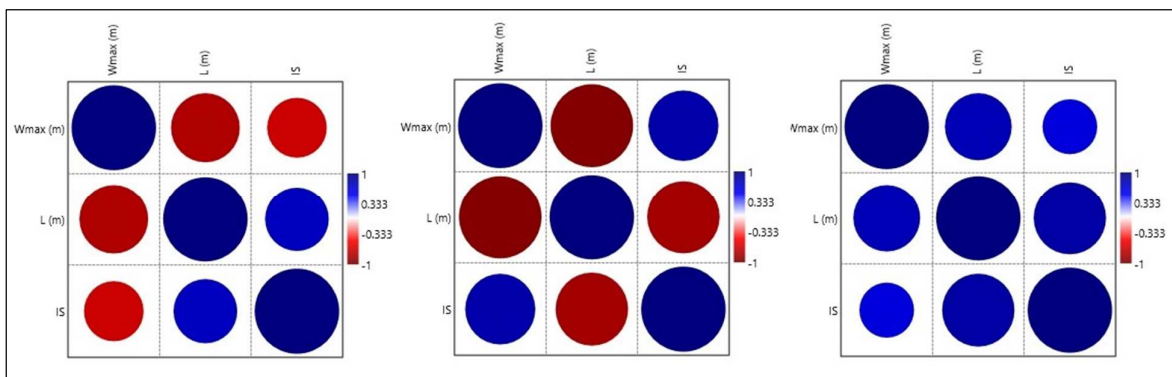


Сл. 41. Основне морфометријске карактеристике М5, М6 и М7 према рецентном стању (2021)

Статистичка метода мултикорелације између референтних морфометријских показатеља меандра такође је извршена. Добијени резултати (Сл. 42) се по први пут знатно разликују у односу на претходне истраживане секторе, али су разлике видљиве и међу самим меандрима. На примерима М5 и М6 имамо регистровану негативну кореалцију која подразумева одсуство линеарног кретања и постојање обрнуте пропорционалности у вредностима две променљиве. Наиме, док се вредност једне варијабле повећава, вредности друге се снижавају. Очекивано висока корелација (0,6-0,8) и веома висока (0,8-1) успостављена је између варијабли дужине централне линије меандра и индекса синусоидности М5 и М7, што подразумева да повећање прве варијабле прати повећање друге. Међутим, код М6 ни на очекиваном пољу не постоје линеарна слагања. Као последица свог положаја и утиснутости између две развијеније меандарске кривине, код М6 је установљена негативна корелација, односно смањење дужине централне линије које евидентно прати повећање индекса синусоидности. Из тог разлога коефицијент корелације има вредност -7,8 (висока негативна корелација). Логичко питање које проистиче је у вези са разлогом појаве успостављеног тренда. Наиме, веома интензиван развој најузводнијег М7 и његово латерално померање у северозападном правцу, а са друге стране не толико интензиван развој другог спољног М5 (због локалних физичко-географских услова) утицало је на појаву утиснутости средишњег меандра. Због ширења меандарских кружница спољних меандара, кружница средишњег је знатно смањена, па је самим тим и дужина централне линије изгубила на вредности. Како су сви параметри геометрије меандра повезани то је условило и нагло опадање минималне дужине меандра, што је на крају имало за резултат стагнацију или благи раст индекса синусоидности.

У интересантним релацијама су и показатељи максималне ширине са једне и параметара IS и L са друге стране код М5. Добијени коефицијент корелације од -0,8 (W_{\max} - L) и -0,65 (W_{\max} - IS) указују на вишу до умерену негативну корелацију, односно да смањење максималне

ширине корита које је регистровано прати повећање дужине и индекса синусоидности. Једино је код М7 међу свим варијаблама утврђена позитивна корелација, нпр. између Wmax и L 78%, односно Wmax и IS 63% повећања максималне ширине тока прати повећање друге варијабле. Добијени резултати још једном указују на нестабилну морфодинамику меандара у оквиру истраживачког сектора IV, узимајући у обзир појаву квантитативних асиметричности међу параметрима морфометријских карактеристика тока са једне и показатељима латералног померања са друге стране.



Сл. 42. Корелационе матрице параметара максималне ширине, дужине и индекса синусоидности М5 (лево) и М6 (средина) у М7 (десно)

6.5. Просторно-временска динамика процеса ерозије обала на свим секторима

Утврђивање динамике процеса ерозије обала у просторном и временском контексту представља један од основних циљева спроведеног истраживања. Из тог разлога потребно је квантификовати процес како би се стекли подаци о еродираним и изгубљеним површинама. Добијени подаци представљаће основу за касније утврђивање последица и узрока процеса ерозије обала. Ова фаза истраживања обухватиће евалуацију процеса ерозије обала у току дугог историјског развоја меандарских кривина (1924-2020), његово графичко и табеларно представљање и анализу. Такође, са важношћу процеса ерозије значајно је квантификовати и процес акреације, односно таложења еродираниг материјала. Други процес је од посебне важности, јер је на бројним примерима утврђена појава деградације претходно створених области акреације. Стога, јавља се потреба да се посебно истакне утицај процеса на обалски појас тока Јужне Мораве.

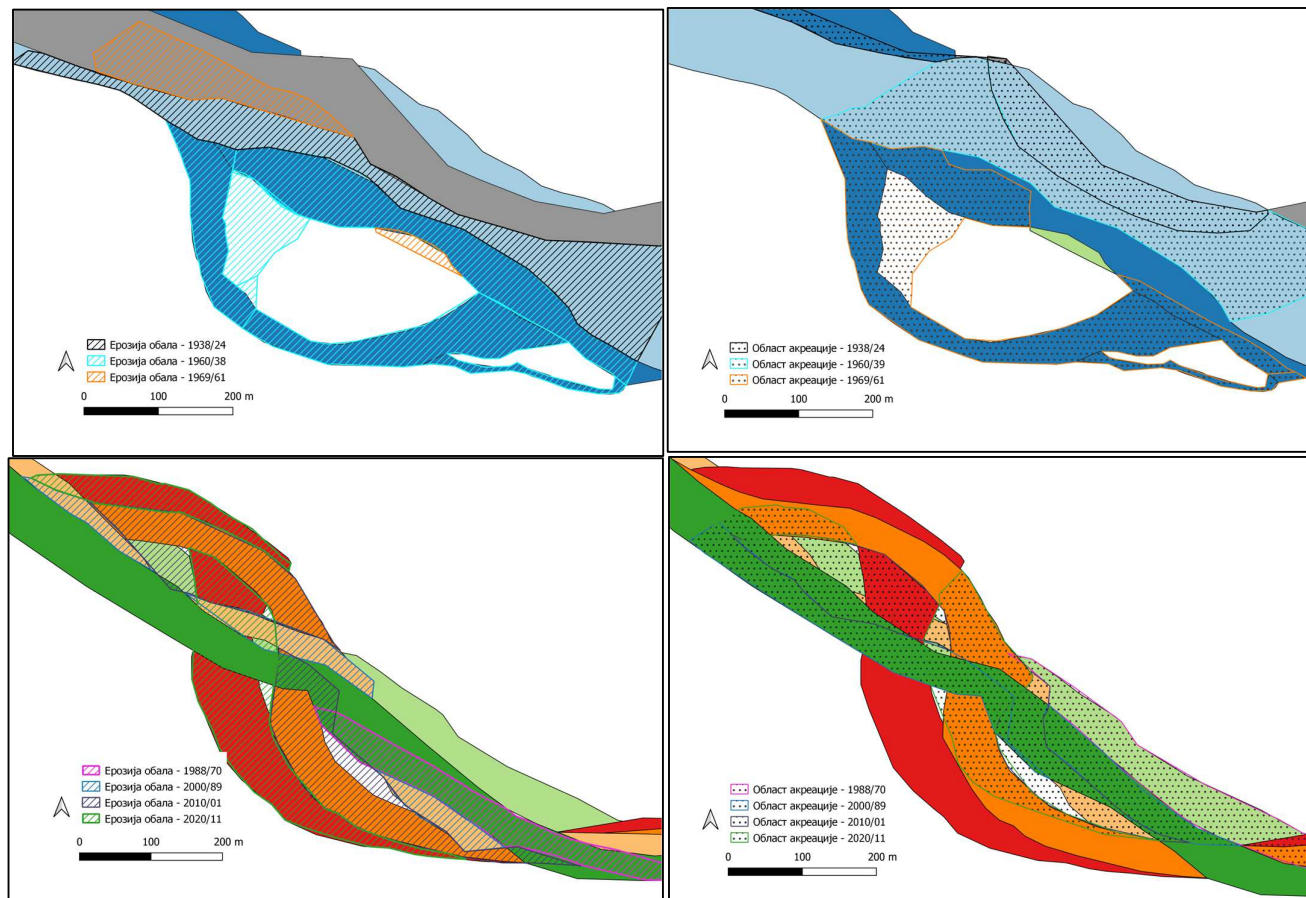
Таб. 19. Вредности ерозије обала према меандрима и секторима (1924-2020)

| Год. | 1938/24. | | 1960/39. | | 1969/61. | | 1988/70. | | 2000/89. | | 2010/01. | | 2020/11. | | 2020/1924. | |
|------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|------|----------|-----|------------|-----|
| М. | У | П | У | П | У | П | У | П | У | П | У | П | У | П | У | П |
| М1 | | | | | | | | | 1,1 | 0,1 | 3,47 | 0,3 | 1,55 | 0,2 | 6,14 | 0,1 |
| М2 | 6,35 | 0,4 | 10,2 | 0,5 | 2,6 | 0,3 | 2,9 | 0,2 | 0,8 | 0,1 | 3,88 | 0,4 | 5,22 | 0,5 | 31,9 | 0,3 |
| С1 | 6,35 | 0,4 | 10,2 | 0,5 | 2,6 | 0,3 | 2,9 | 0,2 | 1,9 | 0,2 | 7,35 | 0,7 | 6,77 | 0,7 | 38,1 | 0,4 |
| М3 | 2,86 | 0,2 | 12,1 | 0,5 | 31,6 | 3,5 | 4,4 | 0,2 | 2,4 | 0,2 | 4,01 | 0,4 | 10,5 | 1 | 67,8 | 0,7 |
| М4 | 20,8 | 1,4 | 9,3 | 0,4 | 14,6 | 1,6 | 1,5 | 0,1 | 1,5 | 0,2 | 1,05 | 0,1 | 1,17 | 0,1 | 50,1 | 0,5 |
| М5 | | | | | | | | | | | 0,39 | 0,04 | 1,12 | 0,1 | 1,51 | 0,1 |
| М6 | | | | | | | | | | | 1,91 | 0,2 | 4,22 | 0,4 | 6,13 | 0,3 |
| М7 | | | | | | | | | | | 3,06 | 0,3 | 6,39 | 0,6 | 9,45 | 0,5 |
| С4 | 12,7 | 0,3 | | | 10,9 | 1,2 | 17,4 | 0,9 | 7,9 | 0,7 | 5,36 | 0,54 | 11,7 | 1,2 | 65,9 | 0,6 |

у – укупна вредност ерозије обала (ha); п – просечна вредност ерозије обала (ha/year); празно – недостатак адекватних података; М – меандар; С – истраживачки сектор

На основу примењених методолошких поступака за квантификовање процеса ерозије обала у Таб. 19 су представљени добијени нумерички подаци. Процес ерозије обала најочигледније се

представља кроз анализу показатеља укупног деградираног земљишта (укупни земљишни губици) и просечног деградираног земљишта (просечни земљишни губици). У складу са тим у истраживаном периоду од 97 година на простору седам истраживаних меандара трајно је изгубљено је 221,9 ха или 2,21 km² земљишних површина услед деловања процеса ерозије обала (поређења ради, површина општине Врачар у Граду Београду износи 2,87 km²). Највећа површина земљишта деградирана је на истраживачком сектору II (67,8 ха или 30,5%), након којег следи истраживачки сектор IV (65,9 ха или 29,7%), сектор III (50,1 ха или 22,6%) и најмање у оквиру првог истраживаног сектора (38,1 или 17,2%). Интензитет губитка земљишних ресурса процесом ерозије обала није био подједнак у свим етапама одређених сектора и меандара, те је стога значајно извршити детаљнију анализу.



Сл. 43. Област ерозије и акреације на M1 и M2 (1924-2020) појединачно по фазама – ерозија обала 1924-1969. (горе лево), ерозија обала 1970-2020 (доле лево), област акреације 1924-1969. (горе десно) и област акреације (1970-2020.) (горе десно)

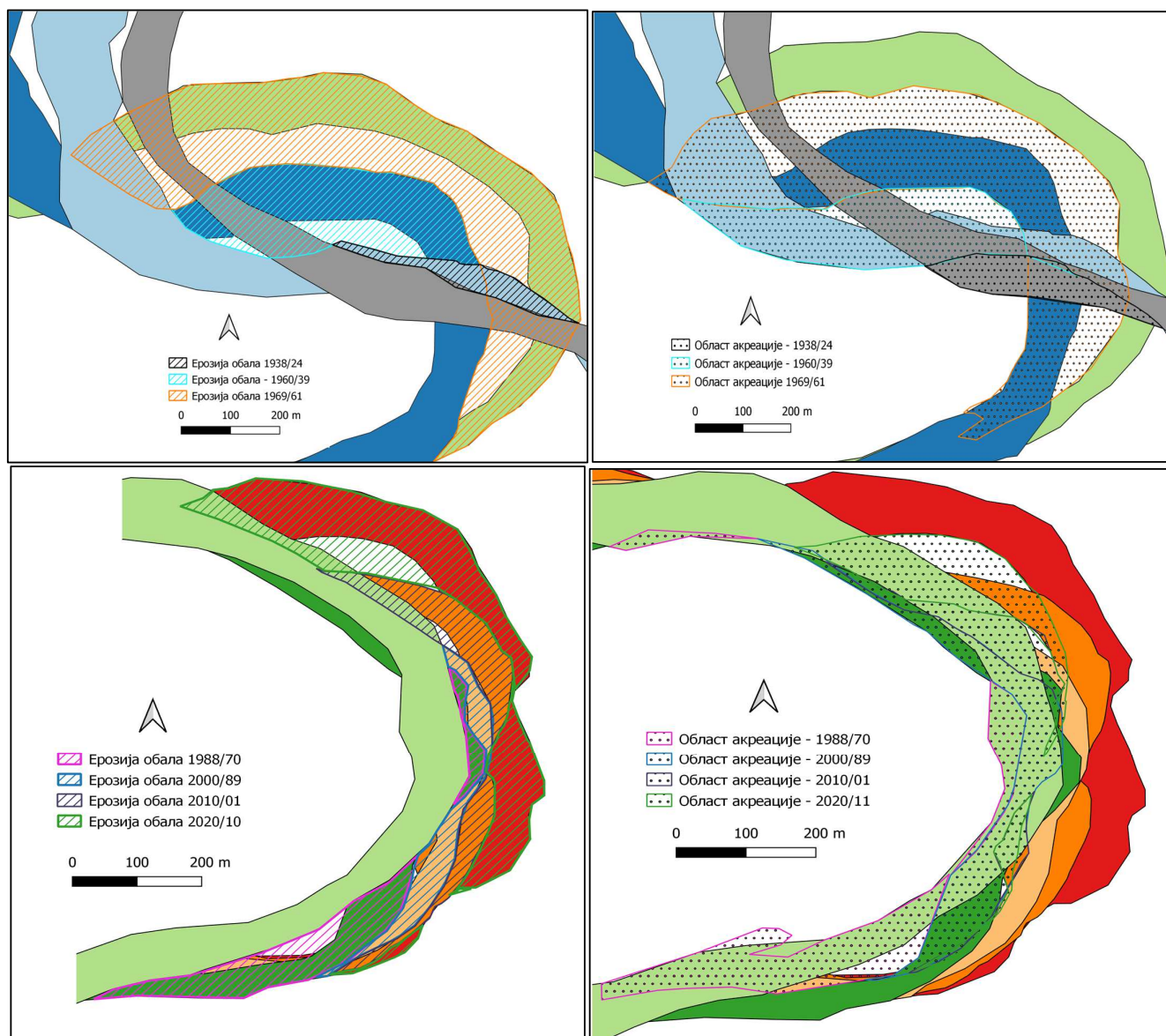
Истраживани сектор I, којег одликује рецентно постојање две меандарске кривине у свим временским пресецима, има регистровано деградирање обала. Ипак, из података је изузет период од 1924. до 1988. године код M1, јер у том периоду он још увек није издиференциран. Од укупних 38,1 ха еродованог земљишта 26,8% или 10,2 ха обала еродовано је у периоду 1938-1960. године. Након тога следе периоди 2001-2010. године са 7,35 ха (19,3%), 2011-2020. године са 6,77 ха (17,8%) и 1924-1938. године са 6,35 ха (16,7%) (Таб. 19). Три централна периода одликују ниже вредности процеса ерозије које су се кретале у распону од 1,9 до 2,6 ха. Међутим, укључивањем податка о просечном годишњем губитку земљишта, по интензивности и јачини процеса, посебно се наглашава период последњих 20 година. У периоду 2001-2010. године просечно годишње нестајање земљишних површина износило је 0,74 ха наспрам 0,36 ха у периоду од 1938-1960. године, иако је укупан губитак земљишта имао

исту вредност. У последњем рецентном периоду годишњи губитак износио је 0,52 ha/год, док се средишња два периода карактеришу доста нижим вредностима од 0,13 ha/год (1970-1988), односно 0,07 ha/год (1989-2000). Од 1989. године присутна је јасна издиференцираност истраживаног сектора на два меандра, па су стога посебно по меандрима прорачунате вредности. На основу резултата може се увидети активнији ерозивни рад М1 у првом од три периода, подједнак ерозивни рад током средишњег периода и апсолутну доминацију М2 током последњих 10 година (77,1% од укупне ерозије обала читавог сектора). У циљу визуелизације добијених података области ерозије и акумулације на оба меандра истраживачког сектора I према временским интервалима приказане су на Сл. 43.

Истраживачки сектор II показао је највећи степен ерозије обала током референтног периода. Посматрајући податке из Таб. 19 може се констатовати да су **укупни земљишни губици у периоду 1924-2020. године износили 67,8 ha. Детаљном анализом седам репрезентативних периода констатујемо највећи интензитет ерозије обала у најкраћем периоду 1960-1969. године, када је 46,4% од укупне деградираних површина уништено процесом ерозије обала (31,6 ha).** Након тога следе период 1938-1960. године са 12,1 ha (17,8%) и последњи истраживани период (2011-2020) са 10,5 ha (15,5%) изгубљених површина. Најнижи интензитет ерозије обала регистрован је у периоду последње деценије 20. века са интензитетом од 2,36 ha. Анализа података о просечном годишњем губитку земљишних површина говори о интензитету од чак 3,5 ha/годишње у периоду 60-их година прошлог века и 1,03 ha/годишње у другој деценији 21. века. Временски период у којем је забележено између 0,5 и 1 ha/god губитка земљишта је 1938-1960. година (0,54 ha/god). Током временских секвенци 2001-2010. (0,39 ha/god), 1970-1988. (0,23 ha/god), 1924-1938. (0,21 ha/god) и 1989-2000. (0,2 ha/god) регистроване су вредности просечних губитака нижих од 0,5 ha/god.

На основу обрађених података може се утврдити да је максимум интензитета процеса ерозије обала постигнут 60-их година прошлог века, након којег је присутан интензивни пад идентификован све до почетка новог миленијума. Вршећи компаративну анализу података два циклуса од 10 година током 21. века, може се закључити пораст од готово 63% интензитета ерозије обала током другог истраживаног периода. Ова чињеница нарочито поспешује важност проблематике последица неповратног одношења земљишних ресурса. На основу увида у графичке прилоге који показују процес ерозије (Сл. 44) може се пратити развој једног компактног меандра до почетка 21. века. Тада су вредности еродираних обалског појаса биле подједнако заступљене у свим деловима. Супротно, током две деценије 21. века уочљивије је интензивније деградирање северног дела М3, што има значајне последице по земљишне ресурсе.

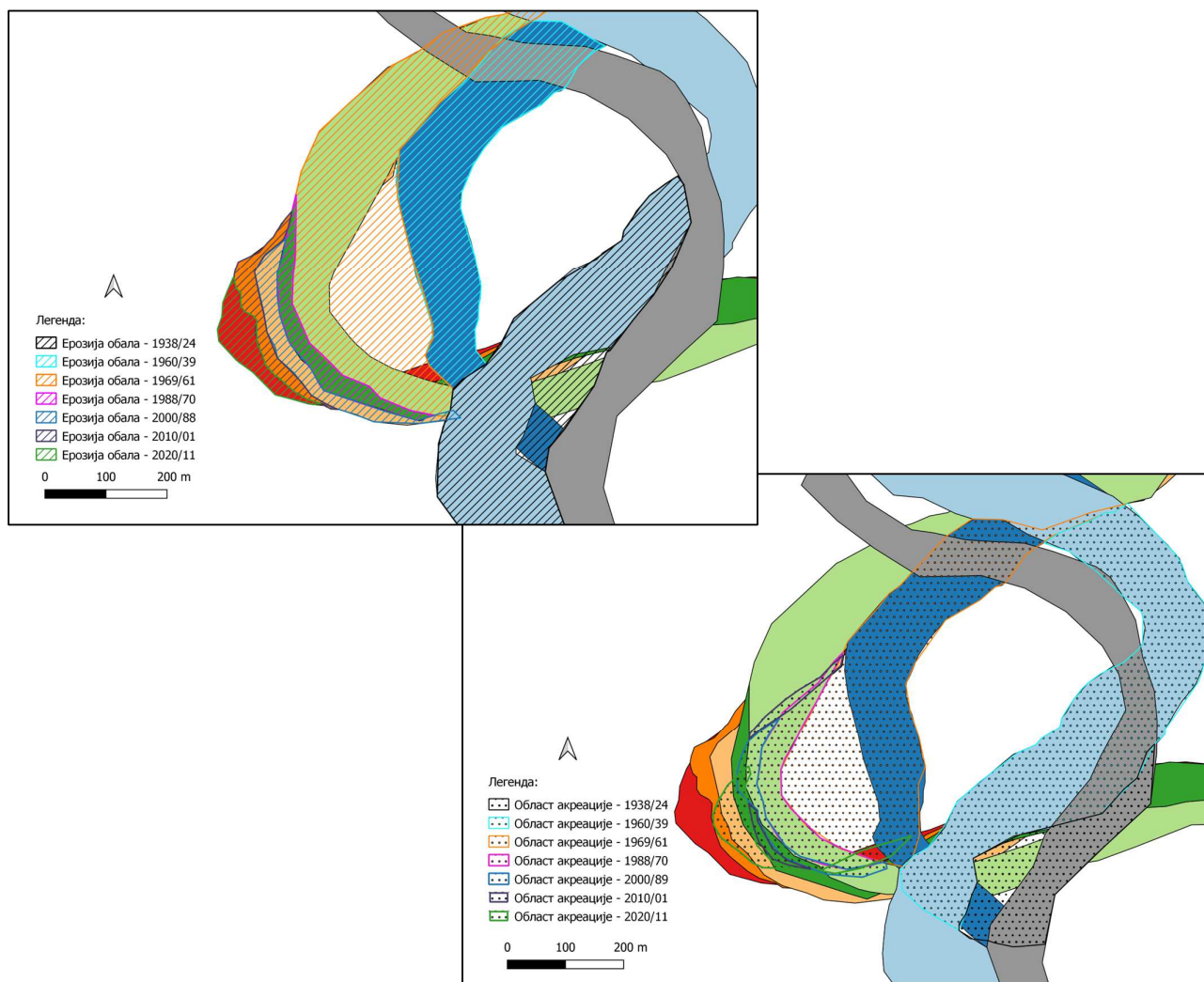
Иако се М4 (*истраживачки сектор III*) одликује високом стопом процеса ерозије обала, анализирајући према појединачним интервалима могу се уочити значајне разлике. Наиме, најинтензивнији процес деградирања обалског појаса карактеристичан је за први истраживачки период када је еродовано 20,8 ha обалског појаса. Након тога следе наредна два периода са 9,3 ha (1939-1960) и 14,7 ha (1961-1969) (Таб. 19). Тиме се може закључити да је највећу деградациону активност М4 регистровао у првој фази истраживаног периода када је еродовано чак 88,9% од укупне вредности за читав период (50,1 ha). Почев од 1970-их година можемо уочити знатан пад у изгубљеним површинама процесом ерозије обала са минималном вредношћу у првој деценији 21. века када је регистровано 1,17 ha губитака. Овакви резултати се разликују од претходно објашњених сектора, јер сада постоји одсуство интензивног померања у последњој декади. Вредности просечног годишњег одношења земљишних површина креће се од 1,6 ha/god (1960-1969) до 0,08 ha/god (1970-1988). На Сл. 45 извршено је графичко представљање области ерозије кроз све временске интервале са циљем указивања на просторни обухват дела обалског појаса који је био највише изложен дејству проучаваног процеса.



Сл. 44. Област ерозије и акреације М3 (1924-2020) појединачно по фазама – ерозија обала 1924-1969. (горе лево), ерозија обала 1970-2020 (доле лево), област акреације 1924-1969. (горе десно) и област акреације (1970-2020.) (горе десно)

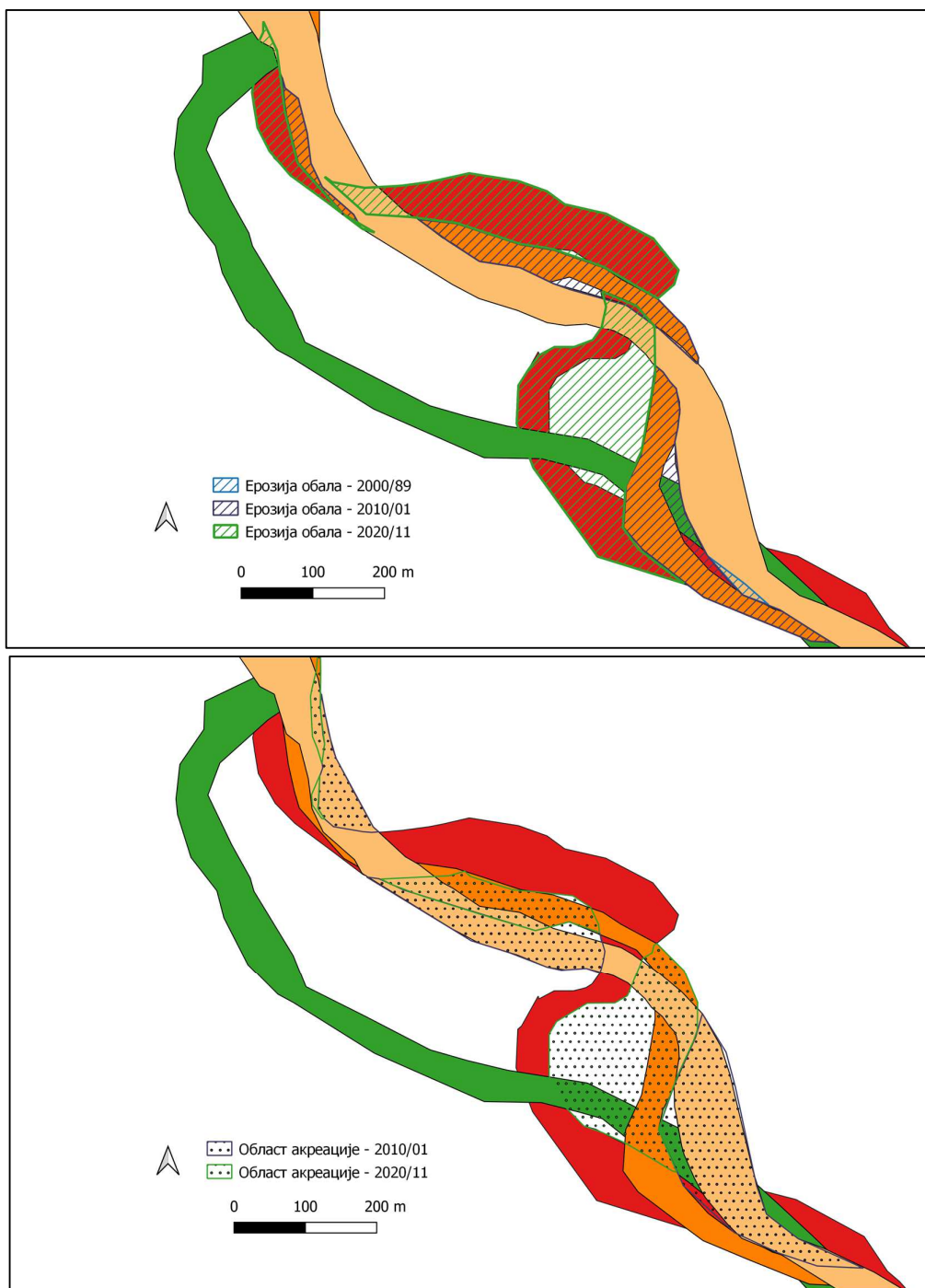
Проучавање процеса ерозије обала на меандрима истраживачког сектора IV је нешто специфичније у односу на претходне примере. Наведена констатација доказана је кроз три основна разлога:

- изразито лутајући карактер речне трасе Јужне Мораве у границама истраживаног подручја онемогућио је процес квантификације ерозије обала према диференцираним меандрима све до 2000. године;
- честе промене положаја корита по алувијалној равни негативно су утицале на могућност утврђивања и разликовања процеса ерозије обала са једне стране и процеса природног измештања речног корита и формирања секундарних речних рукаваца са друге стране;
- отежавајућа околност за сагледавање реалније слике динамике процеса ерозије обала представља и непостојање података за временски пресек 1938. године.



Сл. 45. Област ерозије и акреације М4 (1924-2020) појединачно по фазама - ерозија обала (слика горе), област акреације (слика доле)

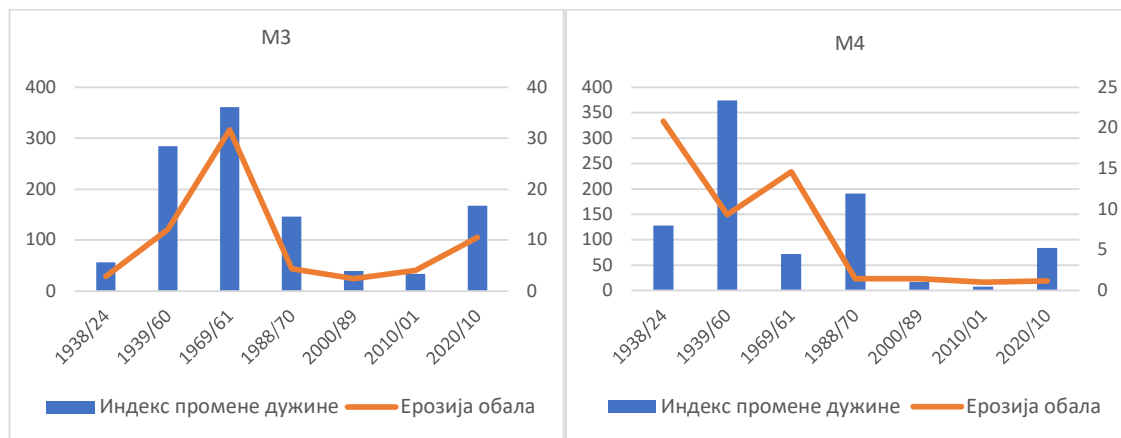
У периоду до 2000. године вредности несталих површина сагледане су кроз призму читавог истраживачког сектора (Таб. 19). У периоду 1924-1960. године еродовано је 12,7 ха земљишних површина или 0,3 ха/god. Значајан интензитет ерозије обала настављен је и кроз два наредна интервала са вредностима 10,9 ха и 17,4 ха. Посебно се може нагласити први период због рекордне стопе просечне годишње ерозије обала која је износила 1,2 ха/god, док се други период издваја по највишој регистрованој укупној ерозији обала током читавог периода (26,4%). Такође, овај период је посебно интересантно нагласити јер се код раније проучаваних сектора није карактерисао изразито високом вредношћу ерозије обала. Период 1989-2000. године одликује се нижом стопом ерозије обала у односу на раније (7,9 ха), али знатно вишом у односу на претходно истражене меандре у датом временском пресеку.



Сл. 46. Област ерозије и акреације М5, М6 и М7 (2001-2020) појединачно по фазама – ерозија обала (слика горе) и област акреације (слика доле)

У последњих 20 година сектор IV задржао је умерен до висок степен процеса ерозије обала који се кретао у распону укупног губитка земљишта од 5,36 ха (2001-2010) до 11,7 ха (2011-2020). С обзиром на поступак формирања три меандарске кривине, даљи процес могуће је пратити и диференцирано, а не само кроз цео сектор. У ту сврху је приложена и Сл. 46 на којој се могу увидети тачне позиције области ерозије на сва три меандра. Најнижом стопом ерозије обала одликује се најнизоводнији М5, при чему се у 20 година њена вредност кретала у домену од 0,4 до 1,1 ха. Израженијим вредностима карактерише се средишњи меандар посебно током последњих 10 година када је процесом ерозије обала неповратно нестало 4,22 ха земљишних

површина. Најузводнији М7 је за последњих 20 година еродирао 9,45 ха свог левог обалског појаса, од чега је 67,7% деградирано током периода 2011-2020. године.



Сл. 47. Однос индекса промене дужине тока и ерозије обала М3 и М4

Финално је извршено сагледавање међусобне динамике два важна параметра укупне површине деградираног земљишта (ха) и индекса промене дужине речног тока у границама истраживаних сектора током свих временских периода. Резултати двоструких дијаграма приказани су на Сл. 47 за два репрезентативна меандра М3 и М4. Први меандар одликује готова потпуна правилност у тренду кретања оба параметра – свако повећање дужине централне линије тока Јужне Мораве прати и вредност укупних губитака земљишних површина. Коефицијент корелације региструје вредност од готово 0,95 што упућује на највишу повезаност два параметра. За разлику од њега, М4 бележи значајне флукуације у погледу вредности оба параметра. Као најзначајнији разлог томе је постојање претходно описаних флувијалних догађаја који су имали утицаја на наглу промену трасе тока Јужне Мораве на простору М4. Овај догађај условио је наставак нелинеарне динамике параметара, што се посебно огледа у периодима 1988/70 и 2020/10. године.

6.6. Просторно-временска динамика процеса акреације на свим секторима

На исти начин као што је извршена квантификација процеса ерозије обала за све истраживане секторе и меандре, применом раније објашњеног методолошког поступка добијени су нумерички резултати области акреације или акумулације еродираних материјала. Док су подаци о површини акреационих области дати у Таб. 20, на представљеним графичким прилозима (Сл. 43-46) могуће је увидети положај свих регистрованих акумулационих области на простору сектора. Значај познавања положаја и вредности области акреације огледа се у могућности спровођења компаративне анализе према области под ерозијом обала, јер се из те релације могу донети одређени закључци о активности меандра. Такође, квантификоване вредности области акреације омогућују значајну базу података у домену проучавања односа латерално померање - вегетација. Површине које настају путем акреације су у почетку веома неконзистентне и голе, а касније са временом под утицајем природних процеса и антропогених активности приводе култури. Овакав случај је чест и код посматраних меандара, што је најбоље уочљиво у рецентним оквирима на примеру истраживачких сектора III и IV.

Посматрајући све проучаване секторе можемо констатовати највећу стопу акреације, очекивано код М3 (Сл. 44). Добијена вредност износи 63,7 ха површина седиментације, што представља за 6,5% нижу вредност од области ерозије. Међутим, посматрајући према временским пресецима можемо видети одређене специфичности у вези са доминацијом једног од два процеса. У првом истраживаном периоду имамо за 18% вишу вредност процеса акреације у односу на ерозију. Слична ситуација је регистрована и у трећем периоду (32,2 ха акумулативних области у односу на 31,6 ха ерозивних), док су у другом интервалу присутне

готово подједнаке вредности. У наредна три временска пресека који се одликују доста нижим вредностима интензитета ерозије обала, постоји јасна доминација акреационих процеса. Насупрот томе, период 2011-2020. године карактерише интензиван процес ерозије који је за 57% виши у односу на област акреације. Високо интензивни водени таласи толико брзо еродирају десну обалу М3 да велики део материјала бива однешен и наталожен на низводнијим меандарским секторима. Уз то, смањење дотока наноса из горњих делова слива Јужне Мораве утицало је на поменуто снижавање области акреације. Према томе, познавање односа између две компоненте бочног померања тока важно је и са хидролошко-псамолошког аспекта речног тока Јужне Мораве.

Посебно интересантан сектор у домену проучавања акреације представља број IV на којем је у периоду 1924-2020. године регистрована вредност од 59,1 ha (0,6 ha/god) (Таб. 20). Подразумева се да приликом генерализовања треба узети у разматрање и да пре првог временског пресека 1924. године било процеса ерозије и акумулације. О томе најбоље сведоче велике спрудне површине (и њихови топоними) које су распрострањене дуж конвексне стране меандара на сектору IV, а за које се због недостатка адекватних података не може установити старост, односно време пре дате године у којем је дошло до интензивне акумулације материјала. Од доступних временских интервала за процес акреације је посебно важан 1970-1988. година када је регистрована вредност од 21,2 ha или 1,2 ha/god (за 20,6% виша вредност у односу на ерозију обала). Поред тога, и наредна два периода се одликују вишим вредностима акреације у односу на ерозију, што представља правилност уочену и на претходно анализираном сектору. Након 2000. године област акреације можемо пратити и на три различита меандра, а подаци указују да најузводнији меандар одликује највећа вредност акреације од 9,11 ha за период од 20 година (Сл. 46). Посебно висока акумулативна моћност у овом сегменту огледа се и у чињеници да овај меандар обухвата и ушће реке Јабланице која велику количину свог материјала таложи на месту ушћа у Јужну Мораву. Према томе, важан саставни део формираних спрудова представља и транспортовани нанос њеном важном притоком.

Таб. 20. Вредности акреације према меандрима и секторима (1924-2020)

| Год. | 1938/24. | | 1960/39. | | 1969/61. | | 1988/70. | | 2000/89. | | 2010/01. | | 2020/11. | | 2020/1924. | |
|------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|------------|------|
| | У | П | У | П | У | П | У | П | У | П | У | П | У | П | У | П |
| М1 | | | | | | | | | 2,49 | 0,2 | 2,84 | 0,3 | 0,81 | 0,1 | 6,2 | 0,06 |
| М2 | 3,62 | 0,2 | 6,97 | 0,3 | 6,3 | 0,7 | 3,31 | 0,2 | 1,48 | 0,1 | 1,97 | 0,2 | 3,66 | 0,4 | 27,3 | 0,3 |
| С1 | 3,62 | 0,2 | 6,97 | 0,3 | 6,3 | 0,7 | 3,31 | 0,2 | 3,97 | 0,3 | 4,81 | 0,5 | 4,47 | 0,5 | 33,5 | 0,34 |
| М3 | 3,50 | 0,2 | 10,3 | 0,5 | 32,2 | 3,6 | 5,8 | 0,3 | 5,05 | 0,4 | 2,23 | 0,2 | 4,67 | 0,5 | 63,7 | 0,7 |
| М4 | 5,32 | 0,4 | 16,0 | 0,7 | 14,2 | 1,6 | 2,35 | 0,1 | 1,15 | 0,1 | 0,81 | 0,8 | 1,73 | 0,2 | 41,5 | 0,43 |
| М5 | | | | | | | | | | | 0,75 | 0,1 | 0,38 | 0,1 | 1,13 | 0,01 |
| М6 | | | | | | | | | | | 1,69 | 0,2 | 1,56 | 0,2 | 3,25 | 0,03 |
| М7 | | | | | | | | | | | 3,89 | 0,4 | 5,22 | 0,5 | 9,11 | 0,09 |
| С4 | 10,5 | 0,3 | | | 5,9 | 0,7 | 21,9 | 1,2 | 7,21 | 0,6 | 6,33 | 0,6 | 7,16 | 0,7 | 59,1 | 0,6 |

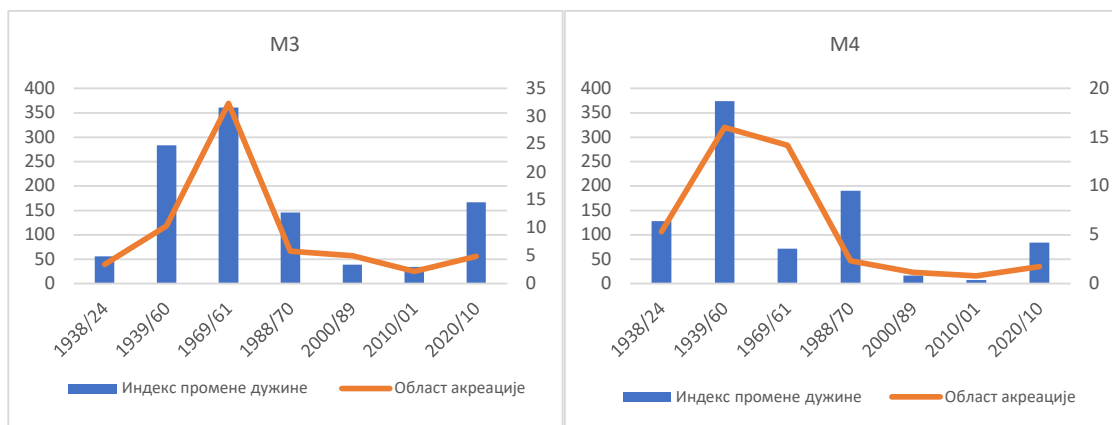
у – укупна вредност акреације (ha); п – просечна вредност акреације (ha/god); празно – недостатак адекватних података; М – меандар; С – истраживачки сектор

На конвексној страни меандра 4 током 97 година извршено је таложење седимената на површини од 41,5 ha (0,43 ha/god) (Таб. 20). У прва три временска пресека заступљена је доминантност области ерозије у односу на акумулацију. Ова чињеница се посебно односи на период 1939-1960. године када је дошло до промене правца тока што је условило усецање новог речног корита. У том смислу није извршен типичан процес бочног померања, па стога нису регистроване ни велике количине акумулационог наноса. Међутим, након 1970. године можемо уочити доминацију процеса акреације до краја истраживаног периода. Специфичан положај и изглед М4 омогућио је да и у последњем периоду имамо већи удео процеса акреације у односу на процес ерозије обала (за 32,1%) (Сл. 45). Због поменутих геометријских карактеристика на унутрашњој страни меандра јавља се брзина воде мањих вредности, па се

омогућава таложење додатног материјала који је деградиран у узводном делу тока и горњем делу слива Јужне Мораве.

Најнижа вредност процеса акреације одликује сектор I (Таб. 20; Сл. 43) и за укупни период износи 33,5 ha, што представља за 12,1% нижу вредност од области ерозије. Тренд варијације акреационог процеса у односу на процес ерозије обала сличан је као и на најближем М3. Анализирајући у апсолутном броју, највеће вредности таложења и стварања нових површина карактеришу период 50-их и 60-их година прошлог века (6,97 ha и 6,3 ha) што је последица и знатно високих ерозивних процеса у сливу Јужне Мораве. Међутим, период од 1970-2000. године одликује, иако мање апсолутне вредности процеса акреације, његова доминација у односу на област ерозије (за 12,2% у четвртном периоду и чак 52% у петом). Процес ерозије обала је у петом периоду слабо изражен, те не изненађује податак о дупло већој акреационој способности меандара. Две новоформиране речне кривине омогућиле су таложење материјала из слива што је утицало на повећање области акумулације. Последња два периода одликује знатно већи удео процеса ерозије обала у односу на акумулацију, у просеку за 40% виши.

На Сл. 48 је приказан однос индекса промене дужине тока према области акреације у циљу компарације добијеног односа према раније исказаној релацији са процесом ерозије обала. Да су процеси ерозије и акумулације компатибилни на примеру М3, поред ранијих нумеричких података, приказује и резултат вредности коефицијента корелације између варијабли дужине и области акреације који износи 0,91. Према томе, оба показатеља латералног померања речног тока у складу су са изменама дужине речне трасе, па се развој поменутог меандра може окарактерисати као равномерно-екстензивни. Код М4 је исто тако идентификована висока корелативност између два параметра, што није у складу са претходно утврђеном релацијом између дужине и области ерозије. Неусаглашеност процеса ерозије и акумулације М4 према дужини речног тока последица је специфичних морфометријских карактеристика које су раније утврђене, али и утицаја спољних фактора од којих је најзначајнији тип вегетационог покривача на спољним странама меандра.



Сл. 48. Однос индекса промене дужине тока и области акреације М3 и М4

6.7. Анализа рецентне просторно-временске варијабилности процеса латералне миграције

Квантификовање процеса латералног померања тока Јужне Мораве и интензитета ерозије обала у току истражног периода од две године представља један је од најважнијих резултата докторске дисертације. Истраживање је спроведено у границама претходно дефинисаних седам меандара (четири истраживачка сектора), кроз четири временска пресека успостављена на основу пет снимања која су извршена у периоду новембар 2019 – новембар 2021. године: новембар 2019., август 2020., новембар 2020., март 2021. и септембар/новембар 2021. године. Овај сегмент рада је конципиран на бази представљања нумеричких резултата интензитета

процеса и објашњења добијених резултата кроз детаљну анализу. Приложени су и картографски прикази сваке истраживане обале на којој су евидентне промене интензитета процеса са јасно уцртаним профилима и назначеним временским периодима. Основни циљ њиховог представљања је визуелизација постојећих промена. Поред сваке карте дата је и фотографија одговарајуће деградираних обале. Сезонска и годишња варијабилност података проучаване проблематике од посебног је значаја за касније одређивање последице процеса, утврђивања узрока, као и формирање сценарија са перспективама и тенденцијама даљег развоја процеса ерозије обала.

6.7.1. Рецентна просторно-временска варијабилност М1

Добијени резултати указују на постојање варијабилности спољне обалске линије М1 (истраживачки сектор I) у двогодишњем периоду истраживања. У циљу лакшег одређивања тражених вредности, уз примењену методологију истраживања на Сл. 49 приказан је активни сегмент спољног дела обале М1 са седам уцртаних и дефинисаних профила. На њима је појединачно регистрована промена обалске линије. Морфодинамика М1 одликује се нижим вредностима основних морфометријских показатеља и мањом стопом просечног померања (*која за читав период износи 7,93 m*) у односу на друге меандре, али свакако врло постојаним. Анализирајући Таб. 21 може се уочити да је максимална стопа латералног померања обале виша и износи чак до **23 m (профил 2)** у проучаваном периоду, што указује на директну значајност екстремних хидролошких прилика и њиховог утицаја на стопу померања обала.

Након извршених прорачуна и израде графичког прилога могуће је диференцирати два сегмента интензивнијег процеса ерозије обале – први који обухвата простор између профила 1-3 и секундарни простор око профила број 4. Први сегмент одликује висок интензитет померања обала посебно током периода новембар 2020 – март 2021. године када су идентификоване рекордне стопе – П 1 – 4,9 m (38,9% од укупног померања за читав истраживани период), **П 2 – 16,4 m (71%)** (Сл. 50) и П 3 - 4,25 m (63%). Током првог периода (новембар 2019 – август 2020) меандар је посебно био активан на профилу 2 (4,3 m – 18,7%), док је на профилу 1 у последњем периоду дошло до значајнијег померања обале Јужне Мораве у вредности од 4 m (31,7%). Период август 2020 – новембар 2020. година одликује најмањи интензитет померања спољне линије меандра на свим профилима, односно у просеку 0,5 m.

Таб. 21. Интензитет померања обале М1 (новембар 2019 – новембар 2021)

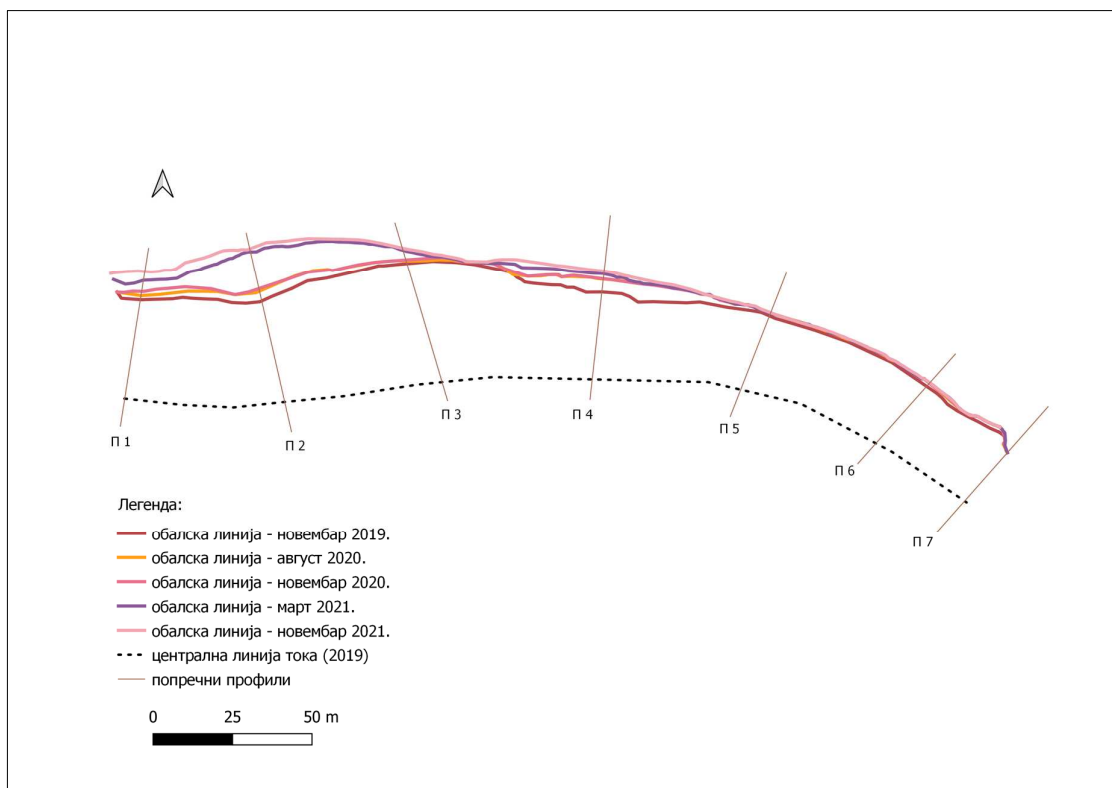
| Профили | Вредности померања обалске линије према уцртаним профилима (m) | | | | |
|---------------------|--|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | новембар 2019 - август 2020. | август 2020 - новембар 2020. | новембар 2020 - март 2021. | март 2021 - новембар 2021. | новембар 2019 - новембар 2021. |
| 1 | 1,81 | 1,84 | 4,90 | 3,98 | 12,58 |
| 2 | 4,30 | 1,12 | 16,38 | 1,23 | 23,04 |
| 3 | 1,24 | 0,45 | 4,25 | 0,97 | 6,79 |
| 4 | 5,60 | 0,18 | 2,26 | 1,18 | 9,24 |
| 5 | 1,21 | 0,07 | 0,20 | 0,00 | 1,47 |
| 6 | 1,63 | 0,00 | 0,26 | 0,00 | 1,89 |
| 7 | 0,10 | 0,00 | 0,30 | 0,10 | 0,50 |
| Просечно померање | 2,27 | 0,52 | 4,10 | 1,10 | 7,93 |
| Максимално померање | 5,60 | 1,84 | 16,38 | 3,98 | 23,04 |

Секундарни максимуми померања регистровани су на профилу број 4 (9,2 m) и то превасходно у првом (61% - 5,6 m) и трећем (21% - 2,3 m) дефинисаном временском оквиру. Остатак меандарске кривине одликује се процесом стагнације деградационог процеса на шта указују ниске стопе просечног померања обалске линије (од 0,5 до 1,9 m за период од две године).

Варијације у вредностима дужине, минималне дужине и индекса синусоидности деградираних обала меандра 1 на истраживачком сектору I готово и да нису постојане (Таб. 22) Већи део прве истраживане меандарске кривине стагнирао је у последње две године о чему сведочи и непромењени податак индекса синусоидности који има вредност 1,1. Ипак, могуће је сагледати одређене промене, пре свега у дужини деградираних обала која је повећана за 0,8%, односно са 306,3 m (новембар 2019. године) на 308,7 m (новембар 2021. године).

Таб. 22. Рецентне промене индекса синусоидности деградираних обала М1

| | новембар 2019. | август 2020. | новембар 2020. | март 2020. | новембар 2021. |
|-----------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|
| L (km) | 306,3 | 307,5 | 307,5 | 308,1 | 308,6 |
| Lmin (km) | 280,7 | 280,9 | 281,2 | 281,9 | 282,1 |
| SI | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |



Сл. 49. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М1



Сл. 50. Деградирана обала М1, на положају П2 (новембар 2019. године)
(Извор: Аутор)

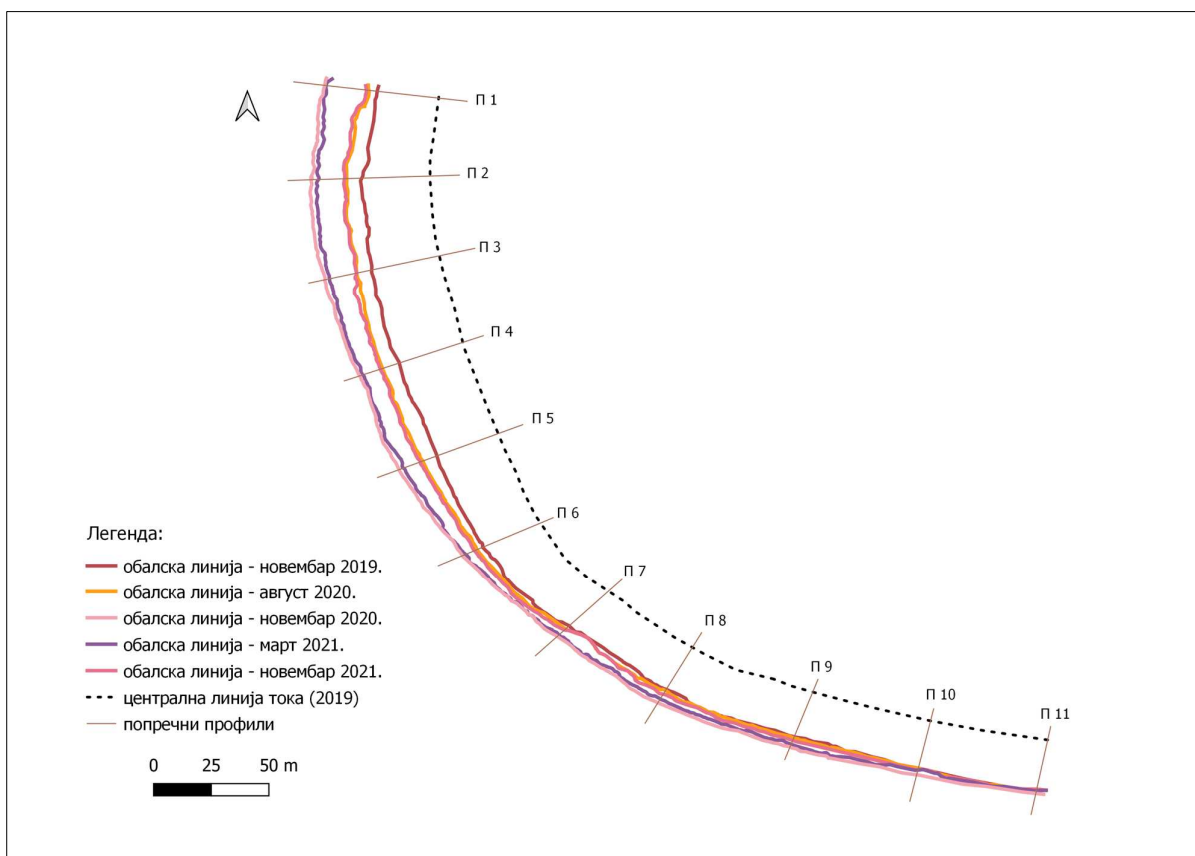
6.7.2. Рецентна просторно-временска варијабилност M2

Квантификовани резултати указују на повећан интензитет латералног померања конкавне обале другог меандра, и њене знатно више вредности током истраживаног периода у трајању од две године. Укупни интензитет померања обале на читавом меандру за период новембар 2019 – новембар 2020. године износи **12,3 m**. Од поменутог броја у првом сегменту (новембар 2019 - август 2020) извршено је померање за 3,6 m (29,4%), а у трећем (новембар 2020 - март 2021) за 5,99 m (48,9%). Нешто ниже стопе померања регистроване су у четвртном интервалу (март 2021 - новембар 2021) за 1,27 m (10,3%) и у другом интервалу (август 2020 - новембар 2020) за 1,1 m (8,9%) (Таб. 23).

Таб. 23. Интензитет померања обале M2 (новембар 2019 – новембар 2021)

| Профили Број | Вредности померања обалске линије према уцртаним профилима (m) | | | | |
|------------------------|--|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | новембар 2019 – август 2020. | август 2020 – новембар 2020. | новембар 2020 - март 2021. | март 2021 – новембар 2021, | новембар 2019 – новембар 2021. |
| 1 | 4,73 | 0,69 | 13,11 | 0,66 | 19,19 |
| 2 | 6,49 | 0,99 | 11,27 | 0,13 | 22,06 |
| 3 | 6,87 | 1,01 | 11,13 | 2,10 | 21,11 |
| 4 | 7,98 | 1,06 | 8,28 | 1,34 | 18,66 |
| 5 | 6,84 | 1,15 | 8,22 | 2,17 | 18,39 |
| 6 | 2,81 | 1,31 | 4,41 | 1,61 | 10,14 |
| 7 | 2,36 | 0,78 | 3,86 | 1,21 | 8,15 |
| 8 | 0,74 | 2,42 | 3,08 | 2,57 | 8,81 |
| 9 | 0,70 | 1,60 | 2,38 | 1,61 | 6,29 |
| 10 | 0,09 | 0,92 | 0,13 | 0,61 | 1,75 |
| 11 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| Просечно померање | 3,60 | 1,09 | 5,99 | 1,27 | 12,23 |
| Максимално померање | 7,98 | 2,42 | 13,11 | 2,57 | 22,04 |

Посматрајући карактеристике 11 издвојених профила може се уочити готово градацијско опадање интензитета ерозије обала идући према узводном делу посматраног меандра (Сл. 51). У најнизводнијем сектору (профили 1-6) регистроване су вредности више од просечне стопе померања са максималном идентификованом вредношћу латералног померања **од 22,1 m на профилу број 2 (Сл. 52) и 21,1 m на профилу број 3**. На поменути два профила просечне максималне месечне вредности померања биле су у границама од једног метра месечно. Посебно се мора истаћи период новембар 2020 - март 2021. године када је за нешто мање од четири месеца на 82% профила (П 1-9) забележена максимална стопа померања обала. У наведеном периоду највише вредности померања регистроване су на три најнизводнија профила (П 1 = 13,1 m, П 2 = 11,2 m и П 3 = 11,1 m), док се вредност максималног просечног померања кретала у распону од **2,8 до 3,4 m/месечно**.



Сл. 51. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије M2

Добијени податак указује на појаву интензивног померања обала другог меандра у трећем секвентном интервалу. На два најзводнија сектора (18% профила) највише вредности померања регистроване су у другом интервалу (август 2020 - новембар 2020) са вредношћу од 0,92 m. На крају је потребно истаћи и први временски интервал када су забележене интензивне стопе померања обале на профилима 2-5, у просеку 7,1 m за период од девет месеци. На Сл. 51 може се увидети низводни део меандра на којем је регистрован значајан степен ерозије обала и који представља најактивнији сегмент меандарске кривине у рецентним оквирима.

Таб. 24. Рецентне промене индекса синусоидности деградирание обале M2

| | новембар 2019. | август 2020. | новембар 2020. | март 2020. | новембар 2021. |
|-----------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|
| L (km) | 577,2 | 584,2 | 588,7 | 604,2 | 605,2 |
| Lmin (km) | 504,8 | 507,3 | 508,1 | 521,1 | 522,0 |
| SI | 1,14 | 1,14 | 1,15 | 1,16 | 1,16 |

Интересантни подаци представљају и рецентне промене индекса синусоидности деградирание обале M1 у истраживаном периоду трајања од две године. Исти су у позитивној корелацији са интензитетом процеса ерозије обала, на шта указују и варијације у вредностима дужине спољне обалске линије. У периоду новембар 2019 – новембар 2021. године регистровано је њено повећање за 4,7% што указује на интензиван развитак меандарске кривине. У складу са тим регистроване су и промене у вредностима индекса синусоидности са 1,14 (новембар 2019. године) на вредност 1,16 (новембар 2021. године). Пораст индекса синусоидности пратио је пораст полупречника меандарске кривине и амплитуде меандара.



Сл. 52. Деградирана обала М2, на положају П2 (новембар 2021. године)
(Извор: Аутор)

6.7.3. Рецентна просторно-временска варијабилност М3

Као што је приликом истраживања морфолошке еволуције меандра током претходних 97 година закључено, други истраживани сектор састоји се од једног меандра неправилног облика, са тенденцијом диференцијације на две меандарске кривине које у последњих неколико година показују различит тип раста/развитка. Из тог разлога проучавање рецентне варијабилности процеса ерозије обала меандра 3 извршено је индивидуално за низводнији и узводнији део велике меандарске кривине. На њима је издвојено чак 26 попречна профила (по 13 на северном и јужном делу) дуж којих су вршена мерења просечног и максималног померања обалске линије (Сл. 53, Сл. 54).

Низводнији део М3 карактерише се најинтензивнијим процесом ерозије обала на читавом току Јужне Мораве. То је утврђено претходним истраживањем дугорочне еволуције тока реке, али и потврђено веома интензивним рецентним променама регистрованим у . Просечна стопа померања десне обале северног дела М3 износи чак 36 m у периоду новембар 2019 – новембар 2021. године са посебним нагласком на период новембар 2020 – март 2021. године (16,1 m) и период новембар 2019 – август 2020. године (12 m). Максимална стопа померања обале за двогодишњи период износила је **чак 104,9 m и регистрована је на профилу број 3** (Таб. 25).

Процесом интензивне ерозије обала одликују се профили 1-5 код којих просечно померање за период од две године износи 64,8 m. Посматрајући према краћим временским секвенцама можемо утврдити да је максимум померања регистрован током трећег временског периода (новембар 2020 – март 2021.) када су за непуна четири месеца забележене импозантне вредности процеса ерозије обала и крећу се од 11,7 m (2,9 m/месечно) на профилу 1, преко 22,4 m (5,6 m/месечно) m и 28,9 m (7,2 m/месечно) на профилима број 5 и 4, **до 42,7 m (10,7 m/месечно) и 47,7 m (11,9 m/месечно) на профилима број 3 и 2** (Таб. 25). Узроци овако интензивне динамике речне обале на другом истраживаном сектору посебно су обрађени у једном од наредних поглавља. *Претходним истраживањима утврђена је изразито висока активност меандра 3 и током периода 2018/17. године када је регистрована стопа максималног померања у вредности од преко 100 m за годину дана.*

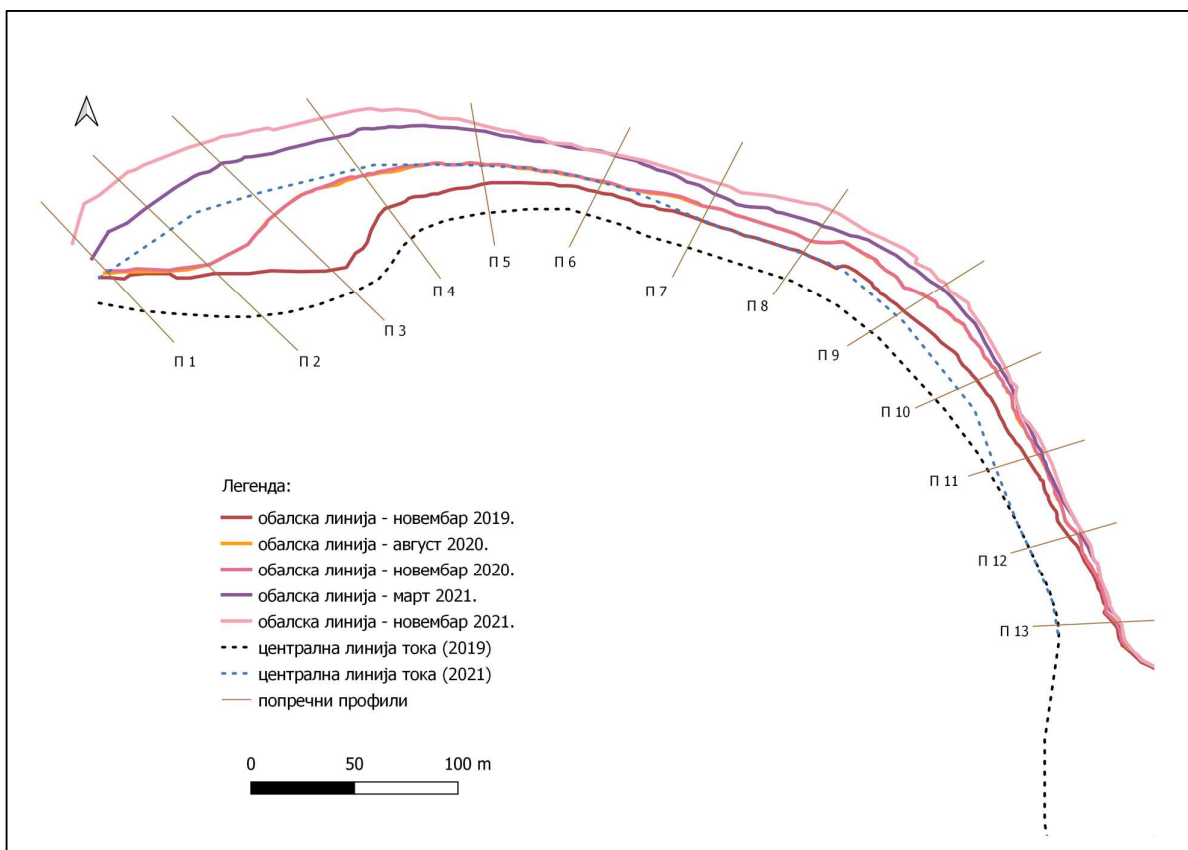
Таб. 25. Интензитет померања обале МЗ (новембар 2019 – новембар 2021)- низводнији део

| Профили | Вредности померања обалске линије према уцртаним профилима (m) | | | | |
|---------------------|--|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | новембар 2019 – август 2020. | август 2020 – новембар 2020. | новембар 2020 - март 2021. | март 2021 – новембар 2021. | новембар 2019 – новембар 2021. |
| 1 | 4,12 | 1,75 | 11,72 | 15,867 | 32,981 |
| 2 | 7,15 | 0,13 | 47,75 | 23,15 | 78,19 |
| 3 | 45,7 | 0,10 | 42,7 | 16,3 | 104,87 |
| 4 | 24,01 | 0,00 | 28,88 | 14,56 | 67,41 |
| 5 | 13,36 | 0,00 | 22,44 | 4,74 | 40,51 |
| 6 | 6,71 | 0,87 | 17,98 | 0,91 | 26,36 |
| 7 | 9,51 | 0,00 | 9,10 | 7,39 | 26,07 |
| 8 | 8,91 | 0,00 | 11,3 | 11,04 | 31,26 |
| 9 | 14,41 | 0,30 | 9,03 | 3,39 | 27,16 |
| 10 | 10,61 | 0,32 | 2,49 | 2,41 | 15,91 |
| 11 | 6,12 | 0,00 | 1,92 | 2,04 | 10,09 |
| 12 | 4,62 | 0,00 | 1,89 | 0,72 | 7,23 |
| 13 | 1,4 | 0,17 | 1,86 | 0,11 | 3,51 |
| Просечно померање | 12,04 | 0,28 | 16,08 | 7,89 | 36,01 |
| Максимално померање | 45,7 | 1,75 | 47,5 | 23,15 | 104,87 |

Да је поменути сегмент МЗ предиспониран за процес ерозије обала говоре и подаци регистровани у другим временским интервалима. У периоду новембар 2019 – август 2020. године највећи интензитет померања обала регистрован је на профилу 3 (**45,7 m** или 4,1 m/месечно), што уједно представља максимално померање на поменутом профилу током читавог периода осматрања. Поред тога интензивне вредности регистроване су и на профилима 4 (24 m или 2,6 m/месечно) и 5 (13,4 m или 1,5 m/месечно). У последњем истраживаном периоду (март 2021 – новембар 2021) највеће вредности померања речних обала регистроване су на профилима број 2 (23,2 m или 2,9 m/месечно), број 3 (16,3 m или 2 m/месечно), број 1 (15,8 m или 2 m/месечно) и број 4 (14,6 m или 1,9 m/месечно). Током другог истраживаног периода нису забележене промене у положају обалске линије, што имплицира да је процес ерозије обала у датом периоду био стагнантан.

Током теренског истраживања које је спроведено у фебруару 2022. године извршено је и непотпуно снимање МЗ, након чије су обраде забележени најсавременији подаци о померању обала. Истраживање је обављено у циљу контроле интензитета процеса ерозије обала меандра на којем је до тада евидентирана највећа стопа латералног померања на току Јужне Мораве. Наиме, на потезу профила 4 регистрован је интензитет у вредности од 3,8 m (у периоду нешто краћем од три месеца, новембар 2021 – фебруар 2022. године), док је на профилу 5 регистровано 3,2 m померања тока, што указује на наставак интензивне ерозије обала реке Јужне Мораве.

На Сл. 53 може се видети низводнији део обрађеног МЗ са положајем обала у свим временским пресецима. Да је процес интензивне ерозије обала био веома изражен указује и чињеница да је у међувремену дошло до потпуне измене правца централне линије тока, те су из разлога најрепрезентативнијег квантификовања процеса ерозије обала профили 1-4 повучени у односу на стање централне линије тока из марта 2021. године, за разлику од осталих који су израђени на основу нултог стања из новембра 2019. године. Процес латералног померања и ерозије обала доводи до деформација у положају линије талвега, како се речно корито помера што се може видети и на примеру посматраног меандра.



Сл. 53. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије МЗ (низводни део)

Остатак дефинисаног сектора карактерише такође постојање процеса ерозије обала, умеренијих вредности, али и даље велике важности пре свега због последица које процес оставља. У том контексту посебно су интересантни профили 6-9 на којима је регистрована просечна стопа померања обала од 26,5 m за две године (Таб. 25). Међутим, за разлику од претходно поменутих деонице тока, овај сегмент карактерише подједнака заступљеност померања обала по свим краћим временским интервалима (осим другог). На профилу 6 максимум је достигнут у трећој временској секвенци (18 m односно 69,2% померања регистровано је у периоду од четири месеца у односу на читав истраживани период). На профилима 7 и 8 регистроване су подједнако сличне вредности померања обале током првог, трећег и четвртог истраживаног периода: профил 7 – 9,5 m (36,5%), 9,1 m (35%) и 7,3 m (28,5%), а профил 8 - 9 m (28,5%), 11,3 (36,1%) m и 11 m (35,4%). Без обзира на нешто више вредности које су регистроване на претходна два профила у првом и четвртном временском периоду, трећа секвенца задржава највише вредности просечног месечног померања обала – профил 7 (2,3 m/месечно) и профил 8 (2,8 m/месечно). На профилу 9 су нешто интензивније вредности померања обала регистроване у првом и трећем периоду (14,4 m и 9,1 m), док су у четвртој временској секвенци оне знатно ниже (3,5 m). На сва четири обрађена профила није било регистрованих померања обала у периоду август 2020 – новембар 2020. године.

Додатним мерењима вршеним током фебруара 2022. године регистроване су одређене промене и у средишњем делу истраживаног меандра – на профилу број 9 померање је износило 4,7 m, односно 1,6 m/месечно. На профилима 6-8 просечна стопа померања у периоду новембар 2021 – фебруар 2022. година износила је 2,1 m, са највишим вредностима на профилу 6 (3,9 m), а најнижим на профилу 8 (1 m).

На последња четири профила представљеним у Таб. 24 и Сл. 52 забележене су доста ниже вредности латералне миграције десне обалске линије што указује на одређену стабилност обале према снази воденог тока који врши ерозију обала. Насупрот претходним примерима,

највећи интензитет померања обала на профилима 10-14 регистрован је у првој истраживаној временској секвенци, са просечним интензитетом померања од 5,23 m за период од девет месеци. Вредност максималне стопе померања највиша је на профилу број 10 (10,6 m) док се градијски смањује идући према узводнијим сегментима (профил 14 – 1,4 m). У наредним временским интервалима интензитет померања обала знатно опада и износи у просеку 0 m у другом временском интервалу - 1,9 m у трећем и 1,2 m у четвртном. Велики диспарат у интензитету померања обала између првог и осталих временских интервала огледа се у чињеници да је у првом таласу обалска линија померена до области са густом вегетацијом која је кохезивнија и стабилизује обалски појас. Обалска линија на профилу 13 је готово у стабилном стању, са јако малим варијацијама интензитета померања у истраживаном периоду од две године. Исти тренд показали су и резултати накнадног мерења из 2022. године.

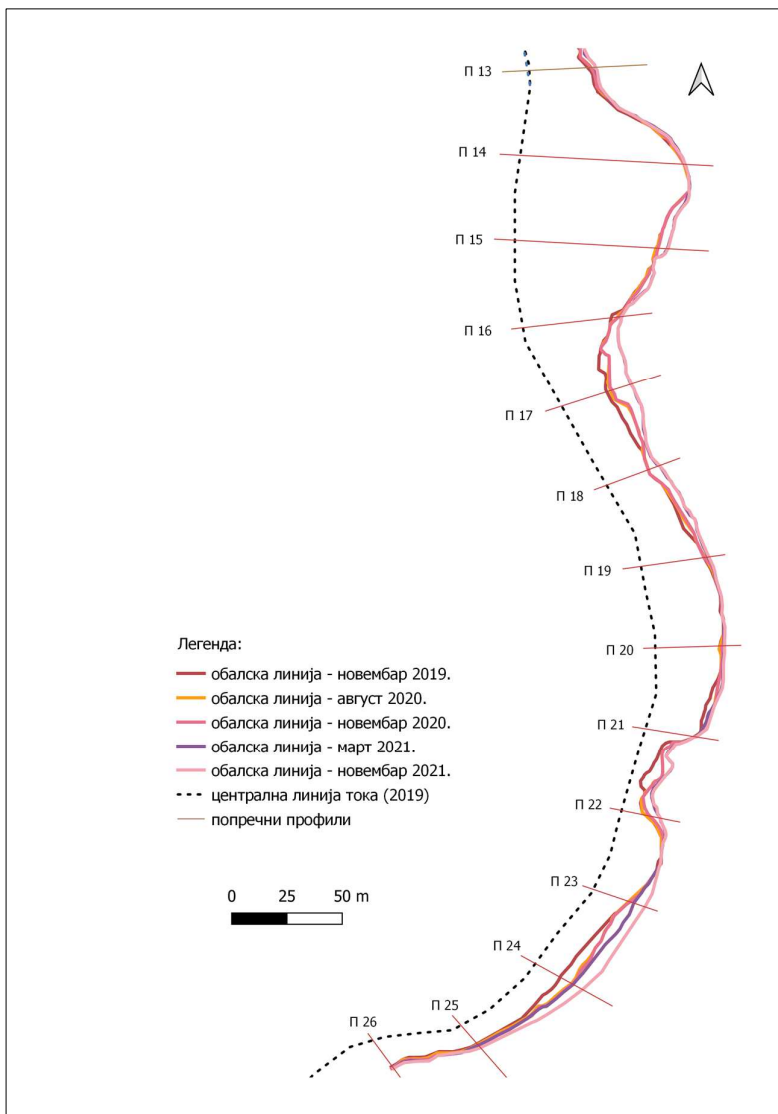
Узводнији сегмент великог МЗ одликује се другачијим варијацијама интензитета морфодинамике речних обала, те је стога сагледан посебно (Таб. 26, Сл. 54). Због постојања густог покривача вегетације и обалских шумских комплекса дуж већег дела спољне обалске линије ерозивни процес је значајно успорен. Као што је у претходном поглављу наглашено, у централном делу МЗ издиференциран је мањи меандар током претходних етапа меандрирања реке, покривен профилима 14-16. Међутим, због претходно напоменутих разлога његова даља еволуција је успорена на шта указују ниже вредности стопе ерозије (од 0 m на профилу 14 до 5,3 m на профилу 15). Највећи део померања обала на три профила извршен је у периоду новембар 2020 – март 2021. године, у просеку 66% у односу на укупан степен померања за сва три профила.

Таб. 26. Интензитет померања обале МЗ (новембар 2019 – новембар 2021) - узводни део

| Профили | Вредности померања обалске линије према уцртаним профилима (m) | | | | |
|---------------------|--|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | новембар 2019 – август 2020. | август 2020 – новембар 2020. | новембар 2020 - март 2021. | март 2021 – новембар 2021. | новембар 2019 – новембар 2021. |
| 14 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,0 | 0,4 |
| 15 | 0,0 | 0,75 | 4,21 | 0,3 | 5,29 |
| 16 | 2,9 | 0,54 | 1,38 | 0,00 | 4,82 |
| 17 | 1,8 | 0,81 | 9,14 | 0,17 | 12,22 |
| 18 | 0,0 | 0,00 | 5,21 | 0,00 | 5,21 |
| 19 | 0,4 | 0,00 | 1,34 | 0,1 | 2,20 |
| 20 | 0,1 | 0,9 | 0,9 | 0,0 | 2,13 |
| 21 | 0,2 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,4 |
| 22 | 0,0 | 2,46 | 4,7 | 0,0 | 6,9 |
| 23 | 0,5 | 0,0 | 2,1 | 5,4 | 8,1 |
| 24 | 6,4 | 0,0 | 0,4 | 5,3 | 12,76 |
| 25 | 0,4 | 0,0 | 0,6 | 1,79 | 2,83 |
| 26 | 0,8 | 0,0 | 0,3 | 0,5 | 1,6 |
| Просечно померање | 1,03 | 0,42 | 2,37 | 1,04 | 4,98 |
| Максимално померање | 2,89 | 2,46 | 9,14 | 5,4 | 12,76 |

Најузводнији део карактерише се постојањем процеса ерозије обала, који је на већем делу меандарске кривине неутрализован постојањем густог вегетационог покривача, док је на два сегмента присутна појава деградираних или еродибилних обала што указује на јачи степен њиховог померања. Прва зона појаве деградираних обала лоцирана је дуж профила 17 и 18 са регистрованим интензитетом њиховог померања од 12,2 m (профил 17) и 5,2 m (профил 18). Као и у претходном случају највећи део еродибилне активности десио се током трећег временског циклуса – 9,2 m (75%) на профилу 17 и у износу од 100% на профилу 18 (5,2 m). Друга зона интензивније ерозије обала позиционирана је око профила 23 и 24. Регистроване

вредности максималног померања обала на том простору износе 12,7 m (П 24), односно 8 m (П 23). Међутим, за разлику од претходних сектора највећи интензитет померања обала регистрован је у последњем временском интервалу, између марта 2021. и новембра 2021. године. Важно је напоменути и висок интензитет ерозије обала профила 24 у првом временском интервалу који износи 6,4 m и последњем када је идентификована вредност од 5,3 m. Остали профили одликују се нижим стопама ерозије обала и потпуним стагнирањем (пример профила 21) (Таб. 26; Сл. 54).



Сл. 54. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М3 (узводни део)

Колико је низводнији део М3 морфодинамички активнији говори податак о разлици између вредности просечног и максималног померања. Првих 13 профила карактерише просечан интензитет померања од 36 m за две истраживане године, односно максимални чак 104 m. Други део меандра је у многоме стабилнији о чему сведочи вредност просечног померања од 5 m, односно седам пута мања вредност. Код максималне стопе померања разлика је још значајнија (за 89% мања вредност). Управо овај податак указује на важност детаљне анализе и објашњења узрока који условљавају и увећавају процес ерозије обала.

У Таб. 27 представљене су измене индекса синусоидности за читав М3. Без обзира на постојање одређених варијација дужине обалске линије, као и постојања промена минималне дужине реке (због интензивног ерозионог процеса на почетним тачкама), вредност индекса

синусоидности се не мења значајније и износи просечно 1,52. Добијена вредност индекса синусоидности говори о постојању меандрирајуће деонице речног тока Јужне Мораве. Дужина обалске линије је у периоду између почетног и крајњег временског пресека увећана за 2,9%, односно 41,5 m (са највећим повећањем током трећег референтног периода). Пораст индекса синусоидности био би значајнији да није процес ерозије обала изражен на почетној тачки меандра – вредност деградације обала утицала је на њено повлачење што је резултирало промени минималне дужине реке за 2%.

Таб. 27. Рецентне промене индекса синусоидности деградираних обала М3

| | новембар 2019. | август 2020. | новембар 2020. | март 2020. | новембар 2021. |
|-----------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|
| L (km) | 1.429,9 | 1.430,5 | 1.430,9 | 1.443,5 | 1.471,6 |
| Lmin (km) | 940,0 | 942,7 | 942,9 | 951,4 | 960,6 |
| IS | 1,52 | 1,52 | 1,52 | 1,52 | 1,53 |



Сл. 55. Деградираних обала М3 на низводнијем сектору (П1 – П7) у новембру 2021. године (слика горе) и средишњем делу (П14-П16) у новембру 2020. године (слика доле)
(Извор: Аутор)

6.7.4. Рецентна просторно-временска варијабилност М4

Реализован теренски мониторинг, квантификовање процеса ерозије обала и обрада резултата обављена је и на примеру меандра 4 у оквиру трећег истраживачког сектора. Због различитих локалних физичко-географских карактеристика ниже вредности интензитета померања

речних обала регистроване су на поменутом сектору у односу на претходне анализиране. М4 издиференциран је на 11 попречних профила по којима су израчунате вредности интензитета латералног померања обале (Таб. 28) (Сл. 56). Вредност просечног померања за истраживани период од две године износио је 3,87 m, што је два пута мања вредност у односу на М1, три пута мања у односу на М2 и готово 10 пута мања у односу на низводни део М3. Посматрано по различитим временским периодима, највећа активност регистрована је у трећој референтној секвенци (1,75 m) и првом периоду (1,3 m). Потом следи релативно стабилан четврти истраживани период са регистрованом вредношћу од 0,7 m, и потпуно стабилан други период.

Анализом положаја попречних профила могу се издвојити одређене карактеристике померања обале. Највећу активност показале су обале око профила 1 (6,27 m) и 2 (11,8 m). Већина поменутог померања обала достигнута је у периоду новембар 2020 – март 2021. године. На свим осталим речним профилима регистрована вредност максималног померања варирала је у распону од 1,7 m (П 9) до 4,3 m (П 5) (Сл. 57). Посебно је потребно истаћи тренд стагнације у померању обала у трећем истраживачком периоду на профилима 4-11 – без обзира на повољне услове који би иницирали процес ерозије обала ограничавајући фактор вегетације одиграо је главну улогу.

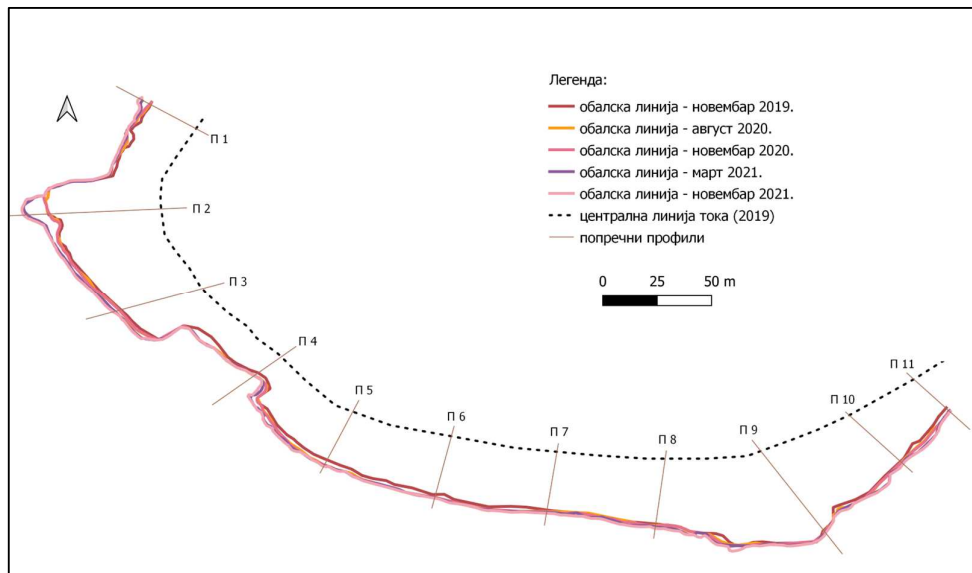
Таб. 28. Интензитет померања обале М4 (новембар 2019 – новембар 2021)

| Профили | Вредности померања обалске линије према уцртаним профилима (m) | | | | |
|---------------------|--|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | новембар 2019 – август 2020. | август 2020 – новембар 2020. | новембар 2020 - март 2021. | март 2021 – новембар 2021. | новембар 2019 – новембар 2021. |
| 1. | 0,3 | 0,2 | 4,00 | 1,75 | 6,27 |
| 2. | 0,5 | 0,0 | 9,4 | 1,8 | 11,84 |
| 3. | 0,7 | 0,0 | 2,15 | 0,86 | 3,74 |
| 4. | 2,4 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 2,6 |
| 5. | 3,4 | 0,0 | 0,4 | 0,5 | 4,3 |
| 6. | 1,89 | 0,12 | 0,0 | 0,34 | 2,41 |
| 7. | 0,8 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 1,8 |
| 8. | 0,7 | 0,0 | 0,7 | 1,02 | 2,73 |
| 9. | 0,7 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 1,7 |
| 10. | 0,6 | 0,2 | 0,9 | 0,5 | 2,2 |
| 11. | 2,33 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 3,03 |
| Просечно померање | 1,30 | 0,1 | 1,75 | 0,67 | 3,87 |
| Максимално померање | 3,4 | 0,3 | 9,4 | 1,8 | 11,84 |

У складу са претходно анализираним подацима о морфодинамици обалске линије М4 су и резултати промене индекса синусоидности (Таб. 29). У посматраном временском периоду од две године нису утврђене промене закривљености меандра. Вредност индекса синусоидности је константна и износи 1,64, што означава да се ради о веома меандрирајућој речној траси. У поређењу са прва три меандра, М4 се карактерише највећим индексом извијаности. Флукуације у дужини спољне обалске линије постоје (од 676 m у новембру 2019. године до 697,5 m у новембру 2021. године, односно повећање за 3,1%), док су осцилације регистроване и код показатеља минимална дужина реке, односно повећање вредности за 1,9% у периоду од две године. Разлог уочене промене лежи у активности меандра у почетној тачки око профила 1. У даљој перспективи очекује се повећање индекса синусоидности М4.

Таб. 29. Рецентне промене индекса синусоидности деградиране обале М4

| | новембар 2019. | август 2020. | новембар 2020. | март 2021. | новембар 2021. |
|-----------|----------------|--------------|----------------|------------|----------------|
| L (km) | 676,5 | 677,1 | 680,1 | 689,3 | 697,5 |
| Lmin (km) | 413,014 | 415,21 | 415,55 | 419,49 | 421,03 |
| IS | 1,64 | 1,64 | 1,64 | 1,64 | 1,64 |



Сл. 56. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М4



Сл. 57. Деградирана обала М4 на положају П5 у новембру 2020. године
(Извор: Аутор)

6.7.5. Рецентна просторно-временска варијабилност М5

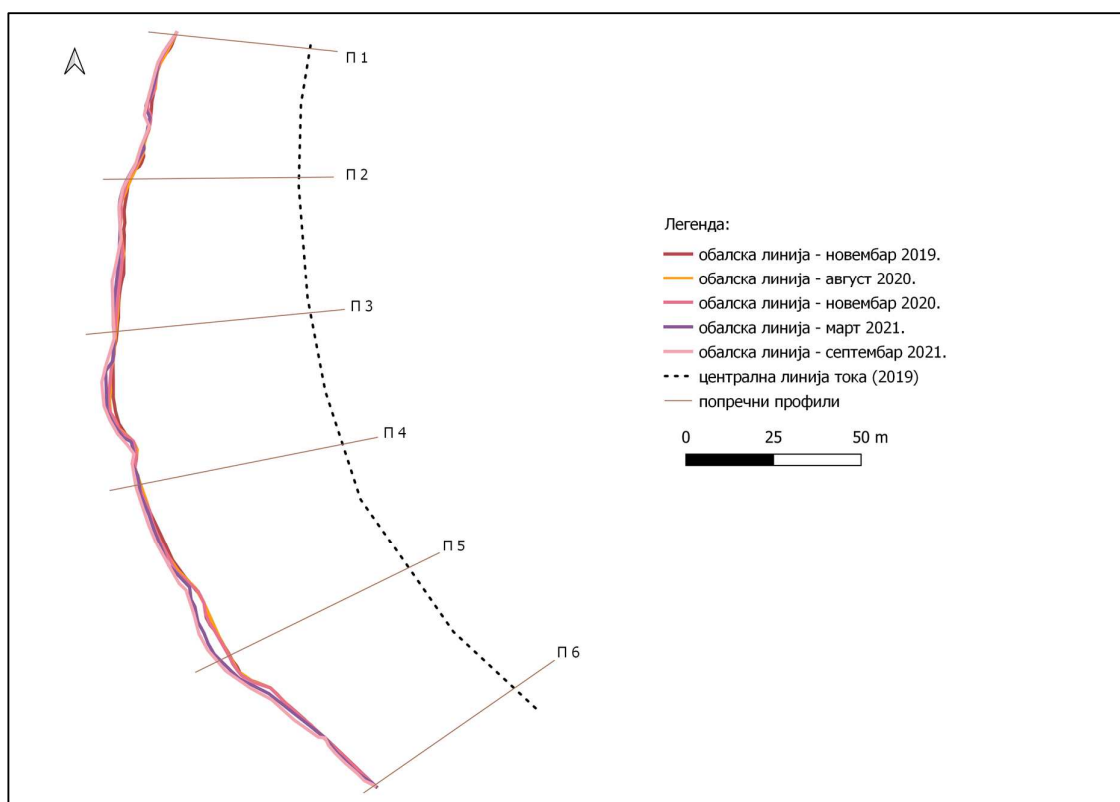
На основу раније просторно дефинисаних референтних меандара, указано је на чињеницу да су на четвртом истраживаном сектору регистрована три меандра. Потребно је нагласити да је период експерименталних праћења процеса ерозије обала и латералног померања на свим меандрима сектора IV краћи, односно да је последњи временски пресек извршен у септембру 2021. године. Због својих специфичних вегетацијских карактеристика најниводнији међу

њима M5 показује најнижи интензитет промене положаја обалске линије током истраживаног периода (Сл. 58).

Таб. 30. Интензитет померања обале M5 (новембар 2019 – септембар 2021. године)

| Профили | Вредности померања обалске линије према уцртаним профилима (m) | | | | |
|---------------------|--|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | новембар 2019 – август 2020. | август 2020 – новембар 2020. | новембар 2020 - март 2021. | март 2021 – септембар 2021. | новембар 2019 – септембар 2021. |
| 1. | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 |
| 2. | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 0,1 | 0,9 |
| 3. | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 1,1 |
| 4. | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 1 | 1,4 |
| 5. | 0,2 | 0,2 | 2,9 | 1 | 4,3 |
| 6. | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,2 |
| Просечно померање | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,4 | 1,3 |
| Максимално померање | 0,3 | 0,2 | 2,9 | 1 | 4,3 |

Током свих репрезентативних временских секвенци тренд померања обалске линије је готово стагнантан и није прелазило један метар. Просечно годишње померање на свих шест профила износило је 1,3 m, док је вредност максималног интензитета померања забележена на профили 5 и износила је 4,3 m (Таб. 30) (Сл. 59). Попречни профил 5 је уједно и једини на којем су регистроване нешто значајније вредности померања спољне линије меандра и то током последња два истраживана периода (вредности максималног померања износиле су 2,9 m у периоду новембар 2020 - март 2021., односно 1 m у периоду март 2021 – септембар 2021. године).



Сл. 58. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије M5

Вредности индекса синусоидности указују на постојање његове минималне измене током истраживачког периода од скоро две године (Таб. 31). Посматрајући профилисани сегмент може се закључити да је овај сектор слабо синусоидан, односно готово правилног облика. Реч је о меандарској кривини која је у зачетку формирања, док је њено даље интензивно напредовање успорено ограничавајућим факторима, међу којима се у највећем обиму издваја густа вегетација. Измене дужине обалске линије током периода новембар 2019 – септембар 2021. године постоје и оне износе 3,8% у позитивном смислу. Највеће повећање регистровано је у првом истраживачком периоду. Минимална дужина обалске линије је константна будући да није било регистрованих промена у почетној и крајњој тачки посматраног меандра.

Таб. 31. Рецентне промене индекса синусоидности деградираних обала М5

| | новембар 2019. | август 2020. | новембар 2020. | март 2020. | септембар 2021. |
|-----------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|--------------------|
| L (km) | 318,45 | 325,56 | 326,42 | 327,58 | 328,44 |
| Lmin (km) | 298,1 | 298,3 | 298,4 | 298,51 | 298,67 |
| IS | 1,07 | 1,08 | 1,09 | 1,09 | 1,09 |



Сл. 59. Деградирана обала М5 на положају П5 у августу 2020. године

6.7.6. Рецентна просторно-временска варијабилност М6

Меандарска кривина означена бројем 6, која се развија са десне стране Јужне Мораве у истом истраживачком сектору као претходни, одликује се значајнијим интензитетом померања обалске линије. У циљу лакшег и ефективнијег сагледавања регистрованих промена графички прикази спољне обале М6 диференцирана су на два прилога – низводнији П1-П5 (Сл. 60) и узводнији П5-П9 (Сл. 61). Просечно померање обале током 22 истраживачка месеца износила је 7,2 m са готово једнаким уделом четвртог (2,8 m или 38,9%) и трећег (37,1%) временског периода истраживања. Након тога следи први период са просечним померањем од 1,38 m (19,2%) и, уравнотежено са претходним меандрима, други сектор када готово и да није регистрована икаква измена положаја обалске линије.

Највише вредности латералног померања обалске линије регистроване су на прва четири меандарска профила на којима је вредност просечног померања износила 13,9 m, односно дуго више у односу на просечну вредност за читав меандар. Максимална вредност померања

регистрована је на профилу 1 и износила је 28,1 m (1,27 m/месечно). Детаљнијом анализом утврђен је посебан деградациони значај последњих 10 месеци када је регистрован интензитет померања од **чак 27,3 m или 97% од укупног броја**. Нагласак је потребно ставити и на најкраћи период од свега непуна четири месеца (новембар 2020 – март 2021. година) када је стопа померања износила чак **3,5 m/месечно** на П 1 (Таб. 32).

Иако се П 2 (Сл. 62) одликује готово упола мањом вредношћу максималног померања обале (13,2 m) важно је поменути и његову еволутивност у рецентном периоду, пре свега због различитог интензитета у односу на дефинисане временске оквире. Најинтензивније померање на П 2 регистровано је током трећег (1,4 m/месечно) и првог (0,5 m/месечно) временског периода. Идући узводније опадање максималне вредности померања обала се наставља па је на П 3 (Сл. 62) забележена вредност од 8,8 m, са највећим уделом измена у првом (3,4 m, 38,6%) и четвртном (2,8 m, 32,1%) периоду. Међутим, важно је истаћи и сигнификантно померање током другог готово неактивног периода на свим истраживаним секторима од 1 m за три месеца. П4 показује најинтензивније померање обалске линије од 2,7 m током прве секвенце, и скоро 2 m током последње. Вредност максималног померања на профилу 4 износи 5,8 m за период од готово две године.

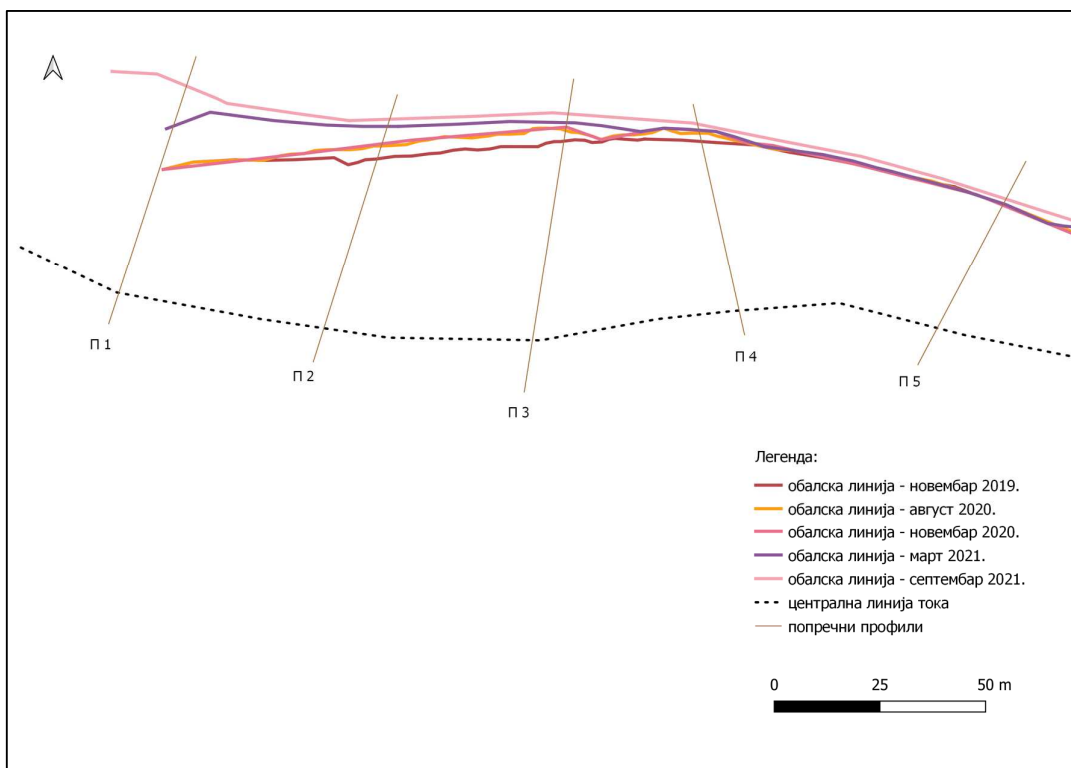
Таб. 32. Интензитет померања обале М6 (новембар 2019 – септембар 2021)

| Профили | Вредности померања обалске линије према уцртаним профилима (m) | | | | |
|---------------------|--|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | новембар 2019 – август 2020. | август 2020 – новембар 2020. | новембар 2020 - март 2021. | март 2021 – септембар 2021. | новембар 2019 – септембар 2021. |
| 1. | 0,7 | 0,1 | 14,1 | 13,2 | 28,1 |
| 2. | 4,26 | 0,7 | 5,7 | 2,3 | 13,13 |
| 3. | 3,41 | 1,05 | 1,44 | 2,84 | 8,81 |
| 4. | 2,72 | 0,1 | 0,93 | 1,94 | 5,81 |
| 5. | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 1,6 | 2,2 |
| 6. | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,7 |
| 7. | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 1,8 | 2,5 |
| 8. | 0,1 | 0,0 | 0,5 | 1,5 | 2,1 |
| 9. | 1,01 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 1,51 |
| Просечно померање | 1,38 | 0,23 | 2,67 | 2,86 | 7,2 |
| Максимално померање | 4,26 | 1,05 | 14,1 | 13,2 | 28,1 |

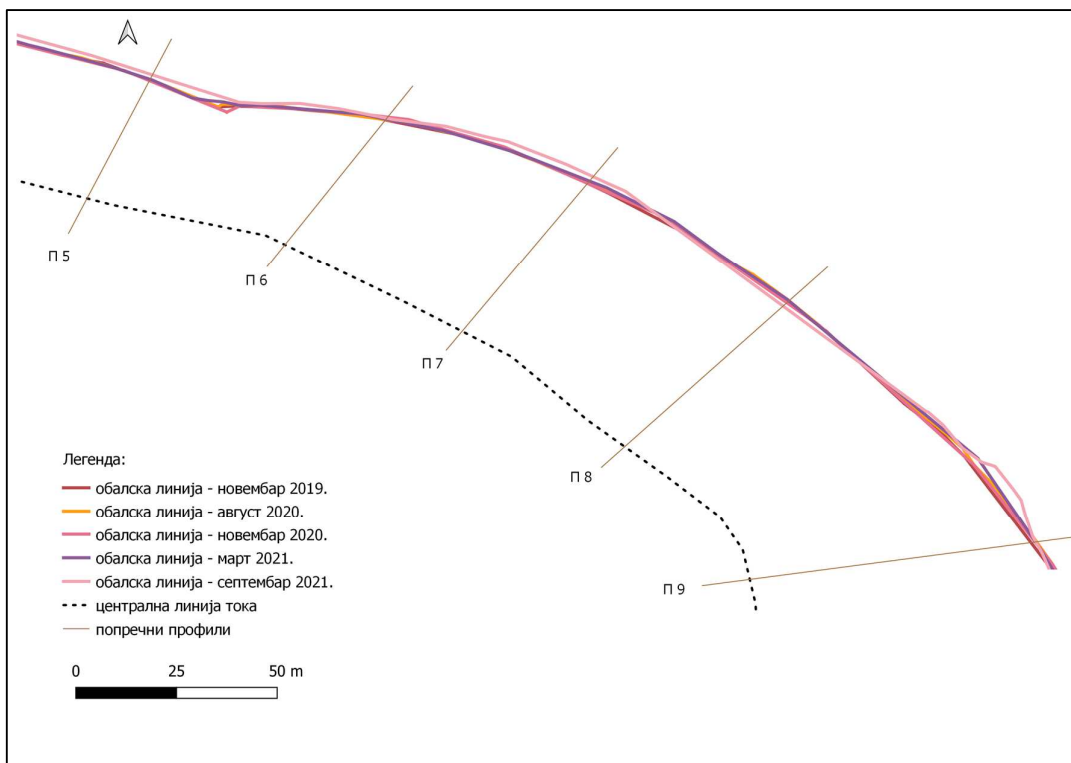
На узводнијим профилима нису регистроване изразите вредности латералног померања. У близини обалске линије око профила 6-8 постоји формирано спрудно острво, па стога само високи протоци воде могу деградирати стране речног корита. Стога се максимална померања крећу у распону од 0,7 m (П 6) до 2,5 m (П 7). На свим профилима максималне вредности евидентиране су или у првом истраживаном периоду као код П 9 – 1 m или у последњем временском пресеку код П 5 (1,6 m), П 7 (1,8 m) и П 8 (1,5 m).

Таб. 33. Рецентне промене индекса синусоидности деградираних обала М6

| | новембар 2019. | август 2020. | новембар 2020. | март 2020. | септембар 2021. |
|-----------|----------------|--------------|----------------|------------|-----------------|
| L (km) | 482,189 | 490,2 | 490,6 | 492,9 | 494,2 |
| Lmin (km) | 450,32 | 452,1 | 452,8 | 455,2 | 457,0 |
| IS | 1,07 | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 1,08 |



Сл. 60. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М6 (низводнији део)



Сл. 61. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М6 (узводнији део)

Код показатеља дужине обалске линије нису запажене значајније промене (Таб. 33). У периоду од новембра 2019. до септембра 2021. године регистровано је повећање дужине спољне обалске линије за 2,5%, односно са 482,2 m на 494,2 m. Међутим, због најинтензивнијег процеса ерозије обала који је регистрован у делу првог попречног профила (или почетне тачке

меандра) идентификована су и повећања минималне дужине реке за 1,4%. Из тог разлога вредност индекса синусоидности није варијала у великом обиму, а према његовој вредности речна траса у овом сектору класификована је као слабије меандрирајућа.



Сл. 62. Деградирана обала М6 на положају П2 и П3 у августу 2020. године

6.7.7. Рецентна просторно-временска варијабилност М7

Последњи проучавани меандар и трећи на четвртом истраживачком сектору одликује се нешто значајнијом активношћу у односу на претходна два меандра. Стога, потребно је издвојити низводни део меандарске кривине којег одликује значајна морфодинамика и узводнији на којем су идентификоване ниже вредности промене (Сл. 63). Вредност просечног померања у периоду новембар 2019 – септембар 2021. године износила је 8,9 m (Таб. 34). Скоро 52% миграторне активности догодило се у периоду од четири месеца треће истраживане секвенце када су регистроване вредности померања од 4,6 m. У току првих десет месеци евидентирано је померање обала за 38% од укупног померања обала, односно вредност је износила 3,4 m.

Међутим, за потребе детаљнијег сагледавања просторних промена на датом меандру сектор ограничен профилима 1 и 4 ће се посебно анализирати. Просечна вредност померања на прва четири профила двоструко је већа у односу на целу меандарску кривину и износи **17,7 m**. П1 (Сл. 64) карактерише веома интензиван процес ерозије обала и померање обалске линије на читавом току Јужне Мораве. Вредност максималне ерозије обала износио је **35,3 m** за период од 22 месеца. О јачини интензитета процеса ерозије обала најбоље говори податак да је за свега четири месеца (новембар 2020 - март 2021) на првом профилима обала померена за чак **29 m**, односно **7,25 m/месечно**. Овај податак потврђује претходно изнету хипотезу да један екстремни догађај може бити одговоран за вредности процеса ерозије обала на нивоу вишегодишњих бројева. Вредне помене су и вредности регистроване током првог периода (4,5 m) и последњег периода (1,3 m). Профилисањем на краћа дужинска растојања (од 10 или 20 m) указало би се на сличне резултате, односно на изразиту активност процеса ерозије обала на потезу између профила 1 и 2 (Сл. 64).

На П2 (Сл. 64) су исто тако забележене интензивне промене положаја обалске линије у датом периоду са вредношћу од 14 m. Међутим, удео латералног померања према диференцираним временским секвенцама је сада у потпуности другачији. Доминантна померања регистрована су током првог истраживаног периода – 85% од укупног померања за дати профил, односно 12,2 m. У периоду новембар 2020 – март 2021. године регистровано је 1,5 m интензитета померања, што је такође битна вредност узимајући у обзир краћу дужину трајања овог временског циклуса. Наредни профил одликују готово исти тренд промене као и претходни,

односно доминантност активности меандра у првом сектору, уз слабије активнији трећи временски период. Одређена разлика се може запазити код П 4 када је евидентирана вредност померања од 11,4 m са готово подједнаким уделом првог (6,2 m или 54%) и трећег (4,6 или 45,2%) временског периода. Иако је већа стопа померања регистрована у првом истраживачком периоду, на битност испољавања процеса ерозије обала више указује други мањи податак, јер је вредност месечног померања у другом случају 1,2 m/месечно.

Таб. 34. Интензитет померања обале М7 (новембар 2019 – септембар 2021)

| Профили | Вредности померања обалске линије према уцртаним профилима (m) | | | | |
|---------------------|--|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | новембар 2019 – август 2020. | август 2020 – новембар 2020. | новембар 2020 - март 2021. | март 2021 – септембар 2021. | новембар 2019 – септембар 2021. |
| 1. | 4,5 | 0,3 | 29,08 | 1,28 | 35,29 |
| 2. | 12,2 | 0,0 | 1,5 | 0,6 | 14,3 |
| 3. | 7,16 | 0,0 | 2,0 | 0,7 | 9,86 |
| 4. | 6,23 | 0,1 | 4,56 | 0,4 | 11,36 |
| 5. | 0,4 | 0,3 | 0,8 | 0,6 | 2,1 |
| 6. | 0,2 | 0,1 | 1,7 | 0,8 | 2,8 |
| 7. | 0,3 | 0,3 | 1,6 | 0,6 | 2,8 |
| 8. | 0,1 | 0,7 | 4,1 | 1,22 | 6,12 |
| 9. | 0,5 | 0,0 | 0,5 | 0,2 | 1,2 |
| 10. | 2,29 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 2,7 |
| Просечно померање | 3,38 | 0,18 | 4,6 | 0,84 | 8,85 |
| Максимално померање | 12,2 | 0,7 | 29,08 | 1,28 | 35,29 |

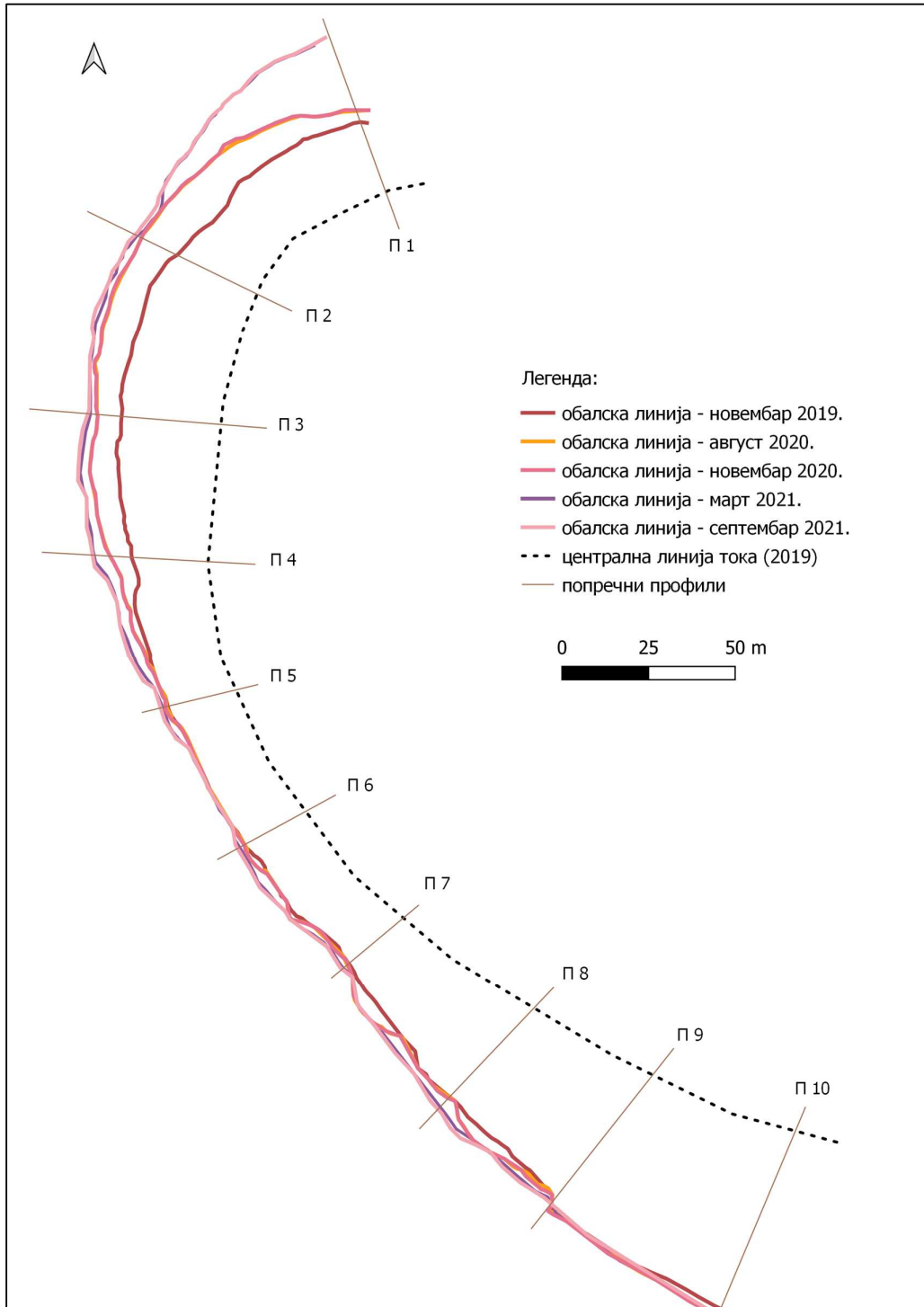
Остатак меандра карактеришу нешто ниже вредности морфодинамике, која је за разлику од претходног примера постојана и у овом сегменту. На профилима 5-7 регистроване су сличне вредности максималног померања од 2,6 m за период од готово две године. Деоница између профила 7 и профила 9 поново се одликује нешто већим степеном померања обалске линије, што је највише манифестовано кроз вредност идентификовану на П 8 (6,2 m). Највећи удео у латералном померању обала на профилима 5-8 поново садржи трећи најкраћи проучаван период када су регистроване вредности од 1 m/месечно или 4,1 m за читав период (П 8). Профил 9 се одликује готово стагнантношћу у посматраном периоду и регистрованом вредношћу од свега 1,2 m за две године. На последњем истраживаном профилу евидентирана је вредност померања од 2,7 m, са првим периодом који је посебно наглашен и активан када је интензитет померања обала износио 2,3 m (85% од укупне миграторне активности меандра на профилу број 10) (Таб. 35).

Таб. 35. Рецентне промене индекса синусоидности деградираних обала М7

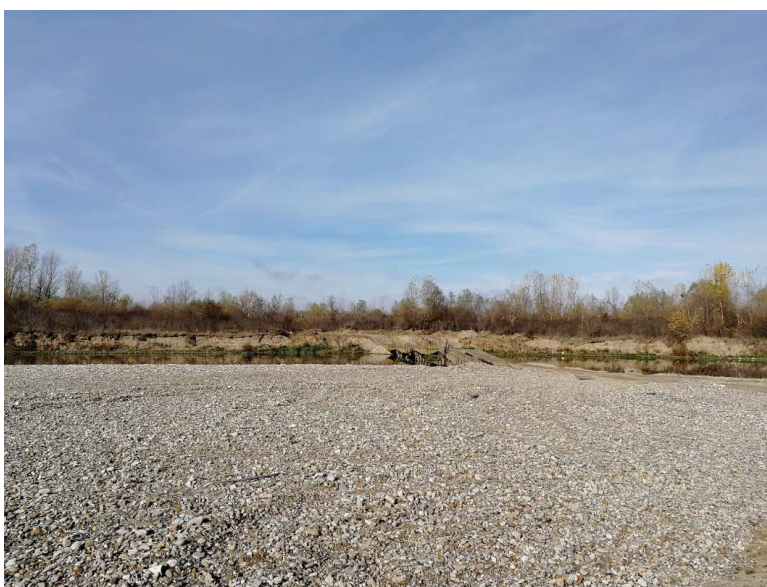
| | новембар 2019. | август 2020. | новембар 2020. | март 2020. | септембар 2021. |
|-----------|----------------|--------------|----------------|------------|-----------------|
| L (km) | 556,68 | 579,37 | 579,5 | 592,16 | 593,15 |
| Lmin (km) | 480,31 | 485,9 | 486,1 | 505,2 | 505,4 |
| IS | 1,16 | 1,19 | 1,19 | 1,17 | 1,17 |

Интересантна динамика регистрована је и по питању дужине обалске линије, минималне дужине реке и индекса синусоидности на примеру М7. Иако се дужина обалске линије у већем обиму повећала у посматраном периоду, то није условило повећање индекса синусоидности, већ обрнуто његово смањење. Разлог за то је изразита миграторна активност у почетном профилу меандра што је утицало на значајан пораст минималне дужине реке. Наиме, у посматраном периоду од новембра 2019. до септембра 2021. године увећана је за чак 36 m или 6,3%. Највећи удео у повећању учува се у периоду између новембра 2020. и марта 2021.

године, када је забележено увећање за 12,6 m.. Даљи раст врха меандра онемогућен је слабијом активношћу меандра у средишњим профилима овог сектора, а самим тим и синусоидност меандра. Насупрот томе, пораст минималне дужине реке за 3,8% (посебно током трећег временског периода) условио је пад вредности индекса синусоидности у односу на ранији период. Према томе, његова вредност се у датом временском оквиру кретала у интервалу од 1,16-1,19 што је карактеристика меандрирајућих речних траса.



Сл. 63. Рецентна просторно-временска варијабилност обалске линије М7



Сл. 64. Деградирана обала М7 на положају П1 и П2 у новембру 2019. године

6.8. Анализа рецентне просторно-временске варијабилности ерозије обала

У наставку рада утврђене су укупне вредности ерозије обала на свих седам истраживаних меандара током целокупног периода осматрања и појединачно током одређених временских пресека. Сагледани су подаци о степену деградираности обала Јужне Мораве у дефинисаним границама, који су касније били значајна база приликом утврђивања последица до којих је поменути процес довео.

Таб. 36. Вредности рецентног интензитета ерозије обала свих меандара

| | новембар 2019 – август 2020. | | август 2020 – новембар 2020. | | новембар 2020 - март 2021. | | март 2021 – новембар 2021, | | новембар 2019 – новембар 2021. | |
|-----|------------------------------|--------|------------------------------|--------|----------------------------|--------|----------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | Ук. | Пр. | Ук. | Пр. | Ук. | Пр. | Ук. | Пр. | Ук. | Пр. |
| М1 | 0,079 | 0,0088 | 0,0079 | 0,0024 | 0,1 | 0,026 | 0,037 | 0,0047 | 0,23 | 0,0095 |
| М2 | 0,21 | 0,023 | 0,063 | 0,017 | 0,36 | 0,089 | 0,1 | 0,012 | 0,74 | 0,031 |
| М3 | 0,9 | 0,1 | 0,043 | 0,013 | 1,22 | 0,3 | 0,55 | 0,068 | 2,71 | 0,11 |
| М4 | 0,073 | 0,0081 | 0,012 | 0,0038 | 0,080 | 0,02 | 0,028 | 0,0035 | 0,19 | 0,0081 |
| М5 | 0,011 | 0,0012 | 0,0045 | 0,0012 | 0,025 | 0,0064 | 0,019 | 0,0024 | 0,060 | 0,0025 |
| М6 | 0,051 | 0,0057 | 0,0086 | 0,0026 | 0,09 | 0,025 | 0,092 | 0,012 | 0,24 | 0,010 |
| М7 | 0,24 | 0,027 | 0,019 | 0,0036 | 0,19 | 0,048 | 0,024 | 0,0035 | 0,47 | 0,02 |
| Ук. | 1,58 | 0,17 | 0,15 | 0,046 | 2,07 | 0,52 | 0,85 | 0,1 | 4,64 | 0,13 |

Ук. – укупни интензитет процеса ерозије обала (ha); Пр. – просечна месечна вредност интензитета ерозије обала (ha/месечно)

На основу добијених резултата може се закључити да је укупно процесом ерозије обала на четири истраживана сектора реке Јужне Мораве и седам репрезентативних меандарских кривина деградирано чак **4,64 ha** обалског појаса у периоду од две године⁷ (новембар 2019 – новембар 2021) (Таб. 36). Будући да је реч о дужини меандарских кривина од 4,37 km, просечан износ губитка земљишта услед ерозије обала на одабраним деоницама износи **1,1 ha/km**. Добијена вредност за свега две године експерименталног истраживања указује на висок интензитет процеса ерозије обала који посебно долази до изражаја посматрајући индивидуално процес према секторима. Од укупних деградираних површина, 44,5% захваћено

⁷ Напомена да је период истраживања код меандара 5, 6 и 7 износио 22 уместо 24 месеца колико износи временски интервал код осталих меандара.

је обрађиваним процесом током периода новембар 2020 – март 2021. година, односно за непуна четири месеца. Након тога следи први истраживани сегмент са 33,9%, затим последњи временски период са 18,2% и на крају период август 2020 – новембар 2020. године са свега 3,4%. У циљу истицања јачине процеса ерозије обала израчунао је и показатељ просечни месечни интензитет ерозије обала. Значајно висока вредност регистрована је у трећем истраживаном периоду са чак 0,52 ha (5.182,2 m²) месечних губитака обалских површина. Важно је напоменути и просечне месечне губитке преко 0,1 ha који су регистровани у првом и последњем временском периоду.



Сл. 65. Ерозија обала M1 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)

Анализирајући добијене резултате, нарочито по меандрима, могу се издвојити одређене заједничке карактеристике, али и посебности. Највећи укупни интензитет процеса ерозије обала, а и у свим временским пресецима, карактерише M3, односно 0,27 ha у периоду од две године. Од укупног броја највећи удео (чак 0,12 ha) деградиран је у периоду од новембра 2020. године до марта 2021. године (Сл. 67). Поред тога битно је напоменути и први истраживани период са изгубљеном површином од 0,9 ha. Иако разлика у површини изгубљеног земљишта између наведена два примера није изразита, показатељ просечан месечни губитак указује на апсолутну доминацију трећег периода проучавања. Тада је за свега четири месеца деградирано **1,22 ha** земљишта, што представља губитак од **0,3 ha/месечно**. У савременом периоду и рецентним токовима претходно добијена месечна вредност интензитета ерозије обала највиша је на читавом току Јужне Мораве. За потребе наглашавања процеса ерозије обала на одређеним деоницама узео се пример узводног дела M3 (Сл. 67) где је на дужини од свега 350-400 m деградирано готово 1 ha земљишта за четири месеца.

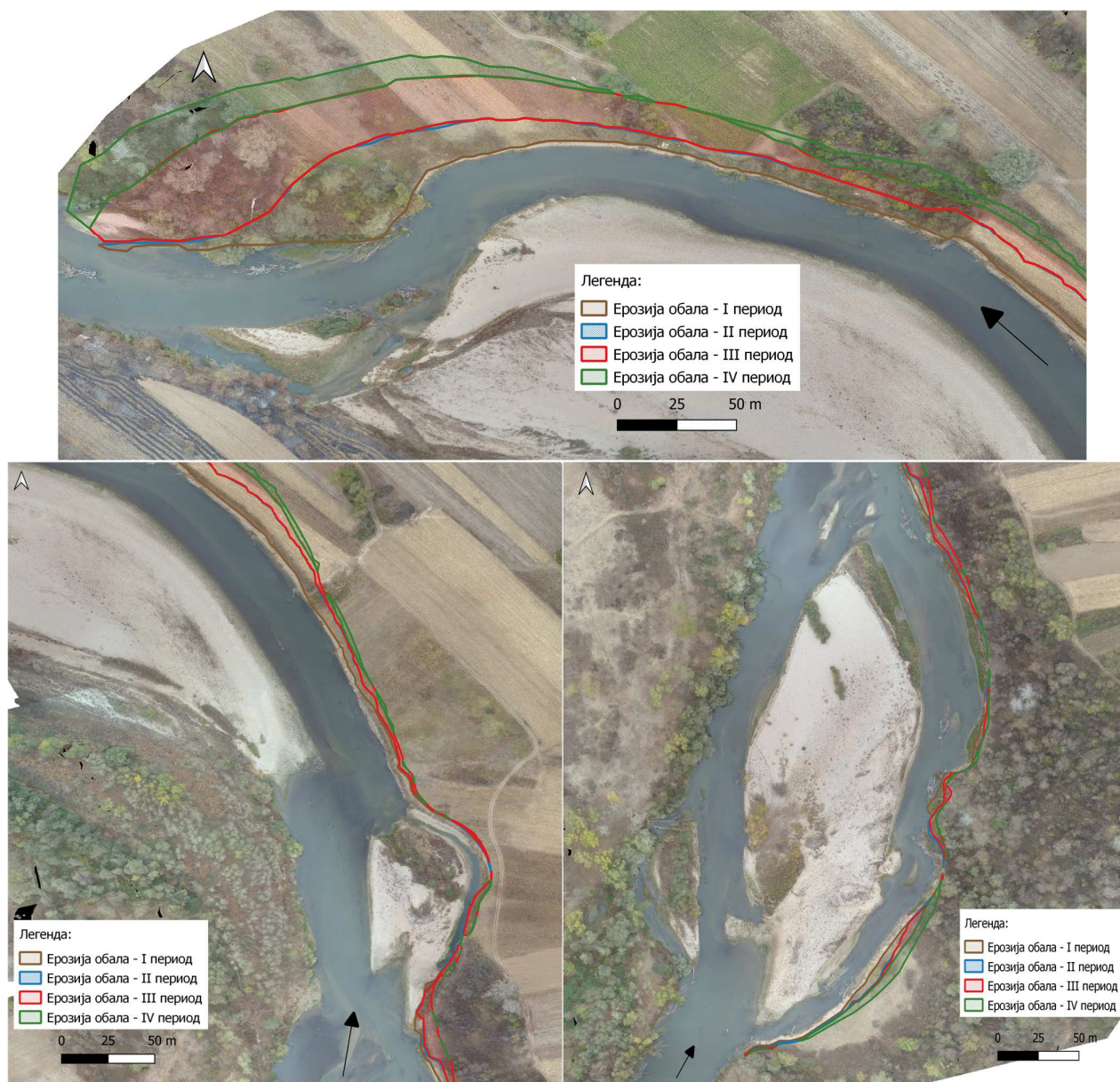
Према интензитету ерозије обала након M3 следи низводнији M2, на којем је у дефинисаном временском периоду процесом ерозије нестало 0,74 ha (Сл. 66). И у овом случају 49% површина деградирано је у кратком средишњем периоду од четири месеца, односно 0,357 ha. Остали распоред процентуалног удела периода исти је као и код M3. Сличан је и однос

просечне месечне ерозије обала, са вредностима од 0,09 ha/месечно у централном периоду до 0,02 ha/месечно у периоду када је по правилу регистрована најмања вредност ерозије обала. Готово исти процентуални удео ерозије обала по појединачним периодима одлика је и другог меандра на истом сектору (M1) (Сл. 65). У његовом обалском појасу укупна област ерозије износи 0,29 ha или у просеку 0,009 ha/месечно. Највиша вредност просечног месечног интензитета ерозије обала регистрована је у периоду новембар 2020 – март 2021. године (0,02 ha /месечно), док је најнижа вредност од 0,002 ha/месечно одлика периода јављања три месеца раније, који је наступио пре новембра 2020. године.



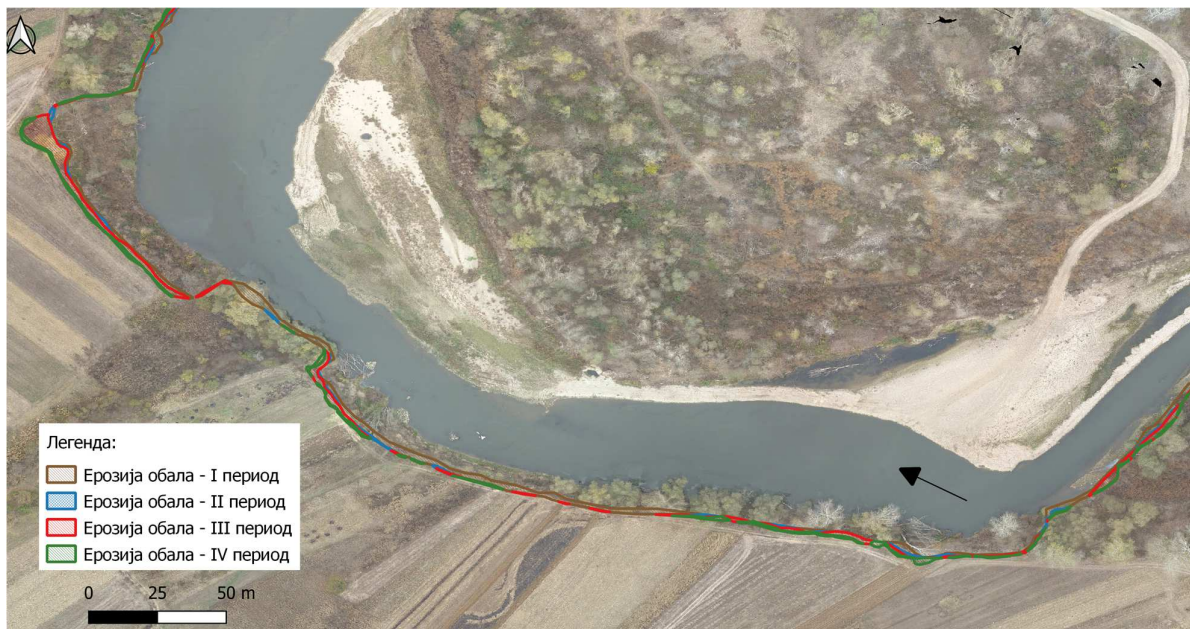
Сл. 66. Ерозија обала M2 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)

Последњи истраживачки сектор (M4) на ободу Алексиначке котлине карактерише се другом најнижом стопом интензитета ерозије обала (Сл. 68). Област ерозије у периоду од две године износи 0,19 ha (просечно месечно 0,0081 ha/месечно). Иако је најзначајнији поново био период новембар 2020 – март 2021. године, његов удео у укупној ерозији обала нешто је нижи у односу на претходне примере (41,2%). Међутим, вредност просечне ерозије обала истог периода износи 0,02 ha/месечно што је највећи забележени интензитет на посматраном меандру. Након извршене анализе прва четири меандара може се закључити да је њихов развој у четири посматране временске секвенце био сличне динамике, односно да су удели ерозивног процеса одређених периода били готово подједнаки, па се такво стање може назвати корелативан градацијски развој процеса ерозије обала.



Сл. 67. Ерозија обала М3 у односу на нулто стање (новембар 2019. године) – узводни део (слика горе), средишњи део (слика доле лево), низводни део (слика доле десно)

На најузводнија три проучавана меандра, који се налазе на простору Лесковачке котлине, постоје одређене различитости по питању интензитета процеса ерозије обала о чему сведоче подаци из Таб. 36, као и графички прилози (Сл. 69 – Сл. 71). Основна карактеристика М5 је најнижа вредност степена ерозије обала, са регистрованих 0,0025 ha/месечно деградираних површина или укупно 0,06 ha, за период од две године проучавања. Највећи интензитет процеса регистрован је у периоду новембар 2020 – март 2021. године (0,025 ha). Други по реду период најинтензивније ерозије обала везан је за раздобље од марта 2021. до септембра 2021. године, када је деградирано око 32% укупних површина (или 0,019 ha). На трећем месту према интензитету процеса налази се први период, док је други период само фрагментно забележен јер област ерозије износи свега 0,0045 ha (Сл. 69).



Сл. 68. Ерозија обала М4 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)



Сл. 69. Ерозија обала М5 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)

Код наредног меандра (М6) регистрована је четири пута већа стопа ерозије обала у односу на претходни који се географски надовезује са месечним еродирањем од 0,01 ха/месечно, док је укупно за период од непуне две године деградирано 0,24 ха површине земљишта. Свакако треба узети у обзир и чињеницу да је последње снимање сектора извршено 30. септембра 2021. године што представља краћи период за 35 дана у односу на претходне секторе и меандре.

Главна специфичност М6 је готово подударан интензитет ерозије обала у четвртном (0,09 ха или 38,3%) и трећем (0,09 ха или 37%) временском интервалу. Међутим, посматрајући показатељ просечног месечног однешеног материјала закључује се доминантност трећег временског периода и регистрованих 0,022 ха/месечно. Као и у многим претходним случајевима и овде на спољној меандарској кривини постоје области веће и мање ерозије обала. На основу графичког прилога на Сл. 70, северни део (дужине око 250 m) може се дефинисати као област највеће ерозије на посматраном меандру.



Сл. 70. Ерозија обала М6 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)

Последњи седми издужени меандар такође се карактерише географски и локацијски неуједначеном стопом ерозије обала – најниводнији део са највећом стопом ерозије, централни део са умереном стопом, и најузводнији са најнижом (Сл. 71). Без обзира на повезаност меандара 5-7, анализирајући последњи међу њима утврђује се неуједначен развој и интензитет процеса ерозије обала. По први пут до сада, од укупно 0,47 ха деградираних површина у периоду новембар 2019 – септембар 2021. године, апсолутно највећи удео регистрован је у првом периоду (0,24 ха или 51%). На наредном месту по интензитету је трећи период са 41% уделом или 0,195 ха области ерозије, док на остатак од 8% отпадају други и четврти истраживани период. Иако постоји сигнификантна измена у количини изгубљених земљишних површина, процесом ерозије обала вредност просечног годишњег губитка није промењена. Са 0,04 ха/месечно трећа временска секвенца показује највећу деградацијску моћ на простору М7. Анализирани резултати добијени проучавањима М7 указују на доминантност више различитих фактора који су условили неуједначено напредовање процеса ерозије обала код три узастопне меандарске кривине. У складу са тим, на овом примеру ће бити посебан осврт приликом објашњавања узрока процеса ерозије обала.



Сл. 71. Ерозија обала М7 у односу на нулто стање (новембар 2019. године)

У зависности од локалних физичко-географских карактеристика, антропогених делатности дуж обалског појаса и интензитета фактора који условљавају процес ерозије обала зависиће и његов интензитет. Иако су у већини случајева у високој корелацији показатељи ерозија обала, просечног и максималног померања речних обала, постоје примери где се периоди са максималном миграцијом речне обале не поклапају са највећом количином деградираног материјала. У ту сврху претходне три варијабле доведене су у корелационе односе применом статистичке методе мултикорелативности. Резултати указују на постојање високе корелативности на већини меандара међу три одабране варијабле (Таб. 37). Највеће слагање присутно је на примеру М2 где просечан степен корелације између варијабли износи 0,99. Изразитом корелативношћу одликују се и М1, М3 и М6 са врло slabим и незнатним неслагањима у временским серијама. Код М4 и М5 постојана је веома снажна корелација између варијабли просечног латералног померања и ерозије обала, као и просечног и максималног латералног померања.

Одређена некорелативност постојана је доводећи у релацију процес ерозије обала и максимално латерално померање, јер резултати коефицијента корелације показују мање вредности од 0,80. То не значи да серије нису корелативне већ је овде присутна снажна уместо веома снажна корелација. Након претходно извршене анализе, резултати спроведене

статистичке методе мултикорелативности потврдили су постојање одређене специфичности код М7. Између променљивих ерозије обала и максималне латералне миграције постојана је умерена корелација, односно коефицијент има вредност од 0,55. Добијени податак упућује на закључак да динамика прве променљиве (ерозије обала) прати око 55% динамику друге променљиве (максимално латерално померање), док са друге стране постоји висока зависност са варијаблом просечног померања (0,83). *Дејством краткотрајног, а јаког ерозивног таласа догађа се да један мањи сегмент спољне обалске линије буде деградиран и померен, док остатак меандра буде релативно стабилан и резистентан. У наредном периоду током дужег и ексцесивног таласа руши се остатак меандарске кривине што значајно утиче на повећање области ерозије у датој меандарској кривини. Из тог разлога долази до непоклапања максималног померања речног тока (који је постигнут у првом периоду) и области деградираних обале чији је максимум досегнут у другом објашњеном периоду. Управо је поменута ситуација карактеристика меандра 7.*

Таб. 37. Резултати примењене методе мултикорелативности над три квантификоване варијабле

| Меандар | Варијабле | Ерозија обала (ha) | ПЛИМ (m) |
|---------|-----------|--------------------|----------|
| М1 | ПЛИМ (m) | 0,927 | 1,00 |
| | МЛИМ (m) | 0,895 | 0,967 |
| М2 | ПЛИМ (m) | 0,990 | 1,00 |
| | МЛИМ (m) | 0,992 | 0,999 |
| М3 | ПЛИМ (m) | 0,898 | 1,00 |
| | МЛИМ (m) | 0,910 | 0,963 |
| М4 | ПЛИМ (m) | 0,955 | 1,00 |
| | МЛИМ (m) | 0,706 | 0,831 |
| М5 | ПЛИМ (m) | 0,853 | 1,00 |
| | МЛИМ (m) | 0,791 | 0,975 |
| М6 | ПЛИМ (m) | 0,994 | 1,00 |
| | МЛИМ (m) | 0,829 | 0,850 |
| М7 | ПЛИМ (m) | 0,8317 | 1,00 |
| | МЛИМ (m) | 0,5532 | 0,8938 |

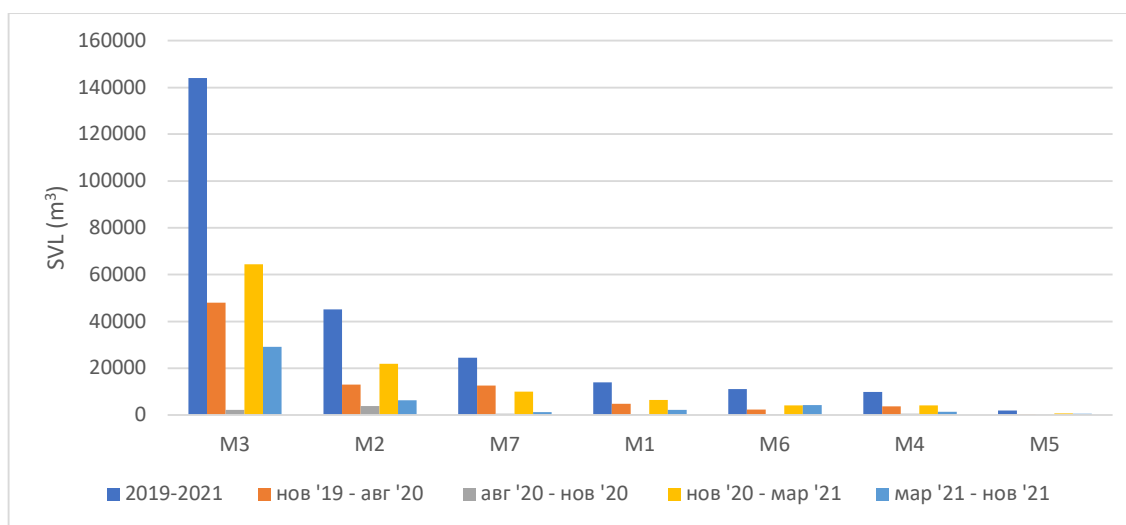
6.9. Резултати рецентне просторно-временске варијабилности осталих параметара

Један од важнијих сегмената који квантитативно и квалитативно описују процес ерозије обала на датом сектору представља запремина ерозивног процеса, односно количина земљишта изгубљеног процесом ерозије обала. На основу предложене методологије извршена је процена изгубљеног земљишта током временског интервала од две године на сва четири истраживачка сектора. Укупна запремина изгубљеног земљишта на свих седам референтних меандара за период од две године износила је приближно **271.860 m³** или **11.327 m³/месечно**. За дужину деградираних обала од 3,89 km, добијена вредност представља веома значајан и утицајан податак.

Посматрајући према меандрима и периодима могу се издвојити исте законитости као и код индекса латералне миграције и ерозије обала. Доминантан меандар је М3, који је за период од две године еродирано преко 140.000 m³ земљишта, од чега највише током период новембар 2020 – март 2021. године (65.571 m³) и у периоду новембар 2019 – август 2020. године (47.993 m³). Овај податак говори о томе да је од седам истраживаних меандара преко 50% запремине земљишта деградирано и неповратно однесено од стране дејства процеса ерозије обала на простору М3. Након њега следи М2 на којем је деградирано око 45.235 m³, односно око 18%. Тренд губитка земљишта исти је као и код претходног меандра са највећим уделом у трећем

периоду (21.944 m³), након којег следе први (13.125 m³) и четврти период (6.325 m³). Радом бочне ерозије М7, сличних морфометријских карактеристика као и М1, неповратно је деградирано 24.525 m³ или 9,9%. Два подједнако ексцесивна периода по питању ерозије обала били су први са 12.600 m³ и трећи са 10.500 m³, што представља одређену различитост у односу на прва два меандра (Сл. 72).

Процентуално мањи удео (5,6%) у укупној запремини одузетог земљишта припада М1 са којег је однета количина од 13.972 m³. М1 представља природни наставак М2 па је тренд варијације у запремини земљишта исти као и код узводнијег сегмента. Сектори 6 и 4 карактеришу се учешћем од 4,6% (11.163 m³) односно 3,9% (9.913 m³) у односу на укупну изгубљену запремину. Интересантно је навести чињеницу да је снагом тока М6 еродирао сличну запремину земљишта током трећег и четвртог истраживаног периода. Сектор са најмањим интензитетом губитка запремине земљишта од 0,7% или 1.874 m³ је пети меандар, што је у складу са раније представљеним резултатима латералног померања и ерозије обала.



Сл. 72. Запремина изгубљеног земљишта по меандрима у рецентном периоду

У овом сегменту важно је напоменути и параметре висине и дужине деградираних обала. Дужине рушевних или деградираних обала су динамичан показатељ у зависности од физичко-географских фактора и антропогених и регулационих активности. У том контексту фактор вегетације игра значајну улогу, јер може извршити редукацију процеса ерозије обала. Раније дати податак за ток Јужне Мораве говори о постојању 3,89 km деградираних обала према стању из 2021. године. Међутим, дужина представља параметар који је врло варијабилан. Чак је и на експерименталним меандрима утврђено да одређена деоница током два временска пресека није имала изражену флувијалну ерозију, али се након једног екстремног догађаја она нагло јавила. Укупна дужина деградираних обала на проучаваним секторима износи 3,89 km, од чега на М3 отпада 1,305 km (33,5%), М2 0,605 km (15,5%), М7 0,5 km (13%), М6 0,49 km (12,7%), М4 0,46 km (11,8%), М1 0,3 km (7,9%) и најмање на М5 0,22 km (5,6%). Међутим, да дужина деградираних обала не мора нужно значити и виши интензитет говори пример М1 који се према изгубљеном земљишту налази на четвртог месту за свега 307 m дужине деградираних обала.

Висина обале представља важан показатељ за израчунавање запремине изгубљеног земљишта. Са друге стране, представља и основни морфометријски појам деградираних обала који и квалитативно даје важне информације о потенцијално угроженој површини од ерозије обала. На основу извршених теренских мерења израчуната је просечна висина обала свих седам истраживаних меандара. Највише обале регистроване су на М1 и М2 са истим просеком висина од 6,1 m. Најдужи сегмент деградираних обала на М3 одликује се просечном висином обале од 5,3 m, док се свега 0,2 m мањом висином карактеришу обале М4. О различитим географским, физичким и морфометријским карактеристикама тока који је врло динамичан

сведочи податак о висини обала три узастопна меандра на истраживачком сектору 4. Наиме, најнизводнији М5 одликује се просечном висином обале од 3,1 m, средишњи леви меандар 4,8 m, а најузводнији вредношћу 5,1 m. Познавање висине обале посебно је важно приликом проучавања најважнијих фактора.

7. ПОСЛЕДИЦЕ ИНТЕНЗИТЕТА ЕРОЗИЈЕ ОБАЛА

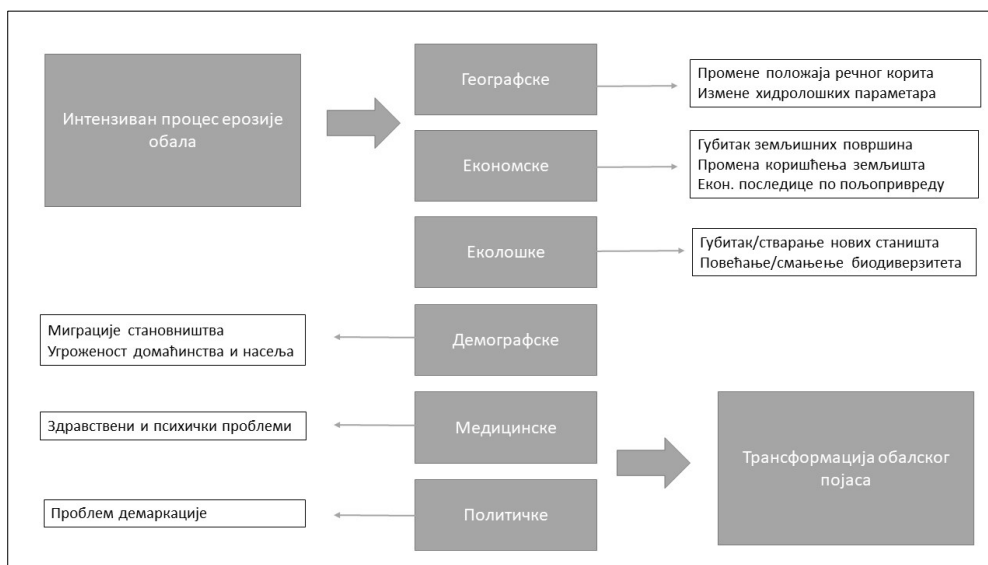
Сагледавање ефеката или последица којим се интензитет ерозије обала манифестује на околину и животно окружење представља значајан сегмент приликом изучавања самог процеса. У том правцу, анализирани су основни елементи који описују проблематику последица процеса, примењена на локалне услове свих репрезентативних меандара. Свеукупне последице процеса ерозије обала могу се објединити под шест основних категорија: географске, економске, демографске, еколошке, политичке и медицинске (Dragicevic et al., 2017b; Langović et al., 2021) (Сл. 73). Манифестовање одређене групе последица и трансформације обалског појаса до којег ће доћи зависи од локалних физичко-географских и социо-економских услова, као и интензитета процеса. Под групом географских последица подразумева се првенствено дејство изражене морфодинамике на географски простор, односно латерална измена положаја речног корита (*енг. Landscape degradation*). На тај начин могу бити измењена и дејства одређених хидролошких параметара (протицај, брзина реке), али и тип земљишта, микроклиматски услови, тип вегетационог покривача. Под групом економских последица подразумева се широк спектар негативних ефеката процеса ерозије обала (Howlander & Rahman, 2016). Исте, пре свега, укључују губитак вредних земљишних површина различитих категорија што касније доводи до економских последица по примарни сектор делатности и изразите материјалне губитке. Поред тога, услед близине деградираних површине честе су промене у коришћењу земљишта праћене деаграризацијом обалског појаса.

Еколошка група последица се може посматрати са два аспекта, у зависности да ли се сагледава и конкавна и конвексна страна меандра. Деградација обалског појаса и губитак земљишта означава губитак одређених животних станишта те може имати негативне ефекте на биљне и животињске заједнице које настају поменути појас. Процесом ерозије обала велика количина наноса доспева у водоток што утиче на повећање њене мутноће и затрпавање речног корита. Са друге стране, новоформиране површине спрудних земљишта, настале процесом акумулације представљају простор новог ширења станишта обалско-ритских заједница (Bertalan et al., 2018). Под демографском групом последица подразумева се широк спектар директног утицаја процеса ерозије обала на становништво (Das et al., 2017; Samsuzzaman, 2018). Интензивност процеса близу насељених места повећава могућност хазарда, угрожености домаћинства и инфраструктуре, што за крајњу последицу може имати људске жртве или миграције становништва (Deکارaja & Mahanta, 2020; Ali et al., 2021). Посебан облик угрожених објеката од стране дејства процеса ерозије обала односи се на регулационе грађевине, најчешће обалоутврде (Mohiuddin, 2011). Под истим условима могу се појавити одређена психичка и медицинска обољења становништва насељеног близу деградационе обале, што се класификује под категорију медицинских последица (Arobi et al., 2019; Hossain et al., 2021). Политичко-географска група последица посебно је наглашена на примерима где алувијална река представља граничну линију између две државе (Dragicević et al., 2013). У том контексту, вршећи процес латералног померања река шири и мења свој правац према територији једне од држава и еродира њену површину, што може довести до политичких проблема. Супротно, територија друге државе постаје већа уз акумулацију еродираних материјала у виду спрудова, док гранична линија остаје по траси некадашњег речног корита. На Сл. 73 представљене су најважније групе последица са додатним примерима њихове манифестације.

Поред наведених постоји још научно-стручних радова који се фокусирају на бројне негативне утицаје ерозије обала, укључујући губитак земљишта, оштећења имовине и инфраструктуре, измене морфологије речних канала и дејства поплавних таласа (Piegay et al., 2005). Исти аутор (Piegay et al., 1999) раније је окарактерисао процес ерозије обала као тип природног хазарда, јер доводи до губитка земљишта, насеобинских и индустријских постројења, људских жртава. Међутим, не постоји нужност испољавања сваке од последица истим интензитетом на одређеном простору. Постоје примери где појава једне групе последица искључују

манифестовање других (нпр. губљење ораничних површина и угрожавање биодиверзитета аутохтоних ритских заједница).

Приликом обраде овог поглавља, сагледане су најважније последице процеса ерозије обала и латералног померања тока Јужне Мораве на референтним секторима. Обрађене су групе последица које имају реалне ефекте на околни простор, као и оне за које постоје адекватни подаци и чији се предмет налази у опусу компетентности уже научне области истраживања (нпр. без обраде демографских последица које нису регистроване на референтним секторима; без детаљнијих економско-монетарних прорачуна које су у домену економских истраживања). Основни циљ поглавља је да се утврде сви проблеми настали ефектима интензитета процеса. Њен значај се манифестује у поступку формирања основе за појединце или институције које ће са свог аспекта истраживања детаљније обрадити поменути проблематику, а све у циљу дефинисања мера и препорука којима би се настали проблеми регулисали. У складу са тим, акценат је стављен на губитак и промену коришћења земљишта дуж тока Јужне Мораве, укључујући и значај еколошког концепта проучавања последица процеса ерозије обала.



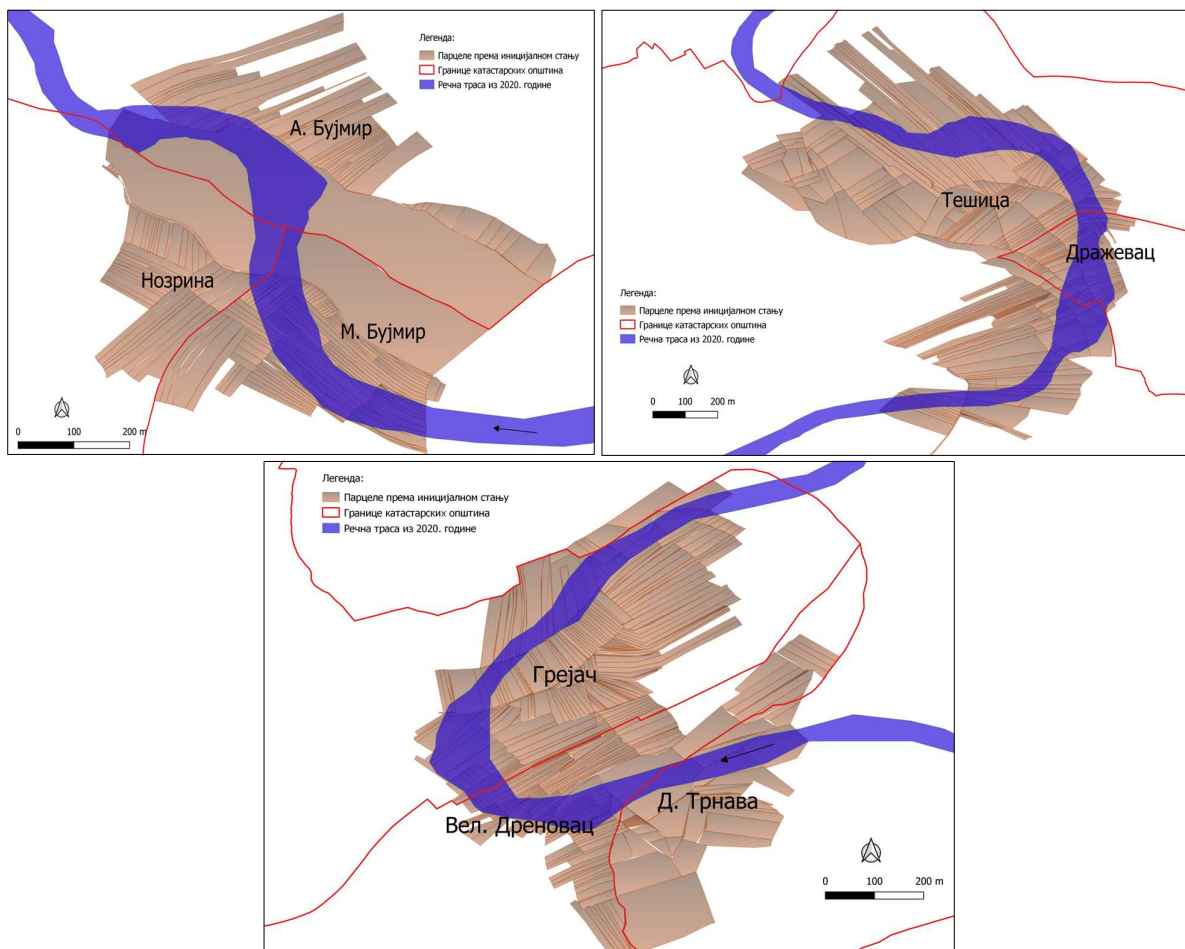
Сл. 73. Категоризација последица ерозије обала и њихова манифестација
(Извор: Елаборација аутора на основу прегледа литературе)

7.1. Губитак и промена намене коришћења земљишта у интергодишњем периоду

Губитак земљишних површина представља најважнију последицу процеса ерозије обала и она се манифестује на свим истраживаним секторима. Кроз параметре за квантификовање процеса ерозије обала, раније су наглашени губици за све секторе, меандре и појединачно према временским интервалима. Регистрована вредност од 221,9 ha изгубљених површина за релативно мали просторни узорак речног тока Јужне Мораве довољно наглашава значајност и интензитет процеса ерозије обала. Међутим, економско-вредносне последице нису исте у сваком хектару поменуте површине, већ оне зависе од географског положаја, физичко-географских карактеристика, типа и квалитета земљишта, вегетационог покривача и антропогених активности. Након квантификовања губитака у економском и финансијском домену, јасно је да није исти економски ефекат једног хектара земљишта под засадима пшенице или кукуруза у односу на исту површину под обалском шумско-жбунастом вегетацијом. У складу са поменутиим, важно је диференцирати различите начине коришћења деградираниог и угроженог земљишта, у циљу наглашавања процентуалног удела сваког од типа.

На основу података катастарских подлога и ортофото снимака извршена је диференцијација деградираних површина према утврђеним класама коришћења земљишта на државном нивоу (РГЗ), појединачно за сва четири истраживана сектора. У том контексту, на основу Правилника о катастарском класирању земљишта („Службени гласник РС“, бр. 37/94, 49/94) издвојено је неколико типова груписаних у четири категорије, који се јављају дуж седам референтних меандара (делимично модификовани и груписани у складу са локалним условима):

- Пољопривредно земљиште
 - њиве (оранице)
 - вртови
 - ливаде
 - пашњаци
 - трстици и мочваре
 - Шумско земљиште
 - Антропогене творевине
 - Речно корито и стари одсечени рукавци
 - Остало земљиште („Службени гласник РС“, бр. 37/94, 49/94)
- Поред одређивања типа деградираног земљишта кроз анализу је поменут и најчешћи његов квалитет изражен кроз бонитетну јединицу.



Сл. 74. Деградиране и угрожене парцеле сектора I (слика горе лево), сектора II (слика горе десно) и сектора III (слика доле) према иницијалном стању

7.1.1. Изгубљене површине земљишта дуж сектора I

На простору првог истраживаног сектора у целокупном посматраном периоду процесом ерозије обала захваћено је у већој или мањој мери 300 парцела означених различитим категоријама. Њихов највећи број формиран је на територији катастарске општине Моравски Бујмир (143 или 47,7%), затим следи Алексиначки Бујмир (115 или 38,3) и Нозрина (42 или 14%) (Сл. 74). Поменути резултат упућује на два закључка:

- да је широка алувијална равна Јужне Мораве и специфичан водни режим омогућио реци широк дијапазон могућности за бочно померање и ерозију обала што се манифестује и кроз површину потенцијално угроженог земљишта које може бити деградирано;
- да на проучаваном простору постоји јако висок степен парцелизације земљишних површина.

Све поменуте парцеле сектора I захватају површину од приближно 65,63 ха, што указује да је око 53,1% укупне површине парцела деградирано процесом ерозије обала. Анализирајући према катастарским општинама можемо утврдити да се највећом угроженошћу одликује катастарска општина Алексиначки Бујмир (63,9%), док испод 50% имају општине Нозрина (46,3%) и Моравски Бујмир (39,1%).

Таб. 38. Изгубљене површине земљишта (1938-2020) дуж сектора I (M1 и M2)

| Период Категорија | 1960/38. | 1969/61. | 1988/70. | 2000/89. | | 2010/01. | | 2020/11. | | Укупно |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|------|----------|------|----------|------|--------|
| | | | | M1 | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | |
| Њиве | 2,9 | 0,58 | 0,53 | 0,33 | 0,55 | 0,03 | 0,96 | 0,58 | 1,31 | 7,77 |
| Вртови | - | 0,027 | 0,01 | - | - | - | 0,19 | - | 0,02 | 0,247 |
| Ливаде | - | - | - | - | - | 0,13 | - | 0,015 | - | 0,145 |
| Шуме | 2,8 | 0,93 | 0,68 | 0,6 | - | 1,72 | 0,21 | 0,028 | 0,94 | 7,908 |
| Антр. творевине | 0,3 | - | - | - | - | - | 0,07 | 0,017 | 0,02 | 0,407 |
| Р. корито | 1,71 | 0,62 | 0,52 | - | - | 0,29 | - | - | - | 3,04 |
| Остало | 2,49 | 0,443 | 1,16 | 0,17 | 0,25 | 1,3 | 2,45 | 0,91 | 2,93 | 12,103 |
| Укупно | 10,2 | 2,6 | 2,9 | 1,1 | 0,8 | 3,47 | 3,88 | 1,55 | 5,22 | 31,72 |

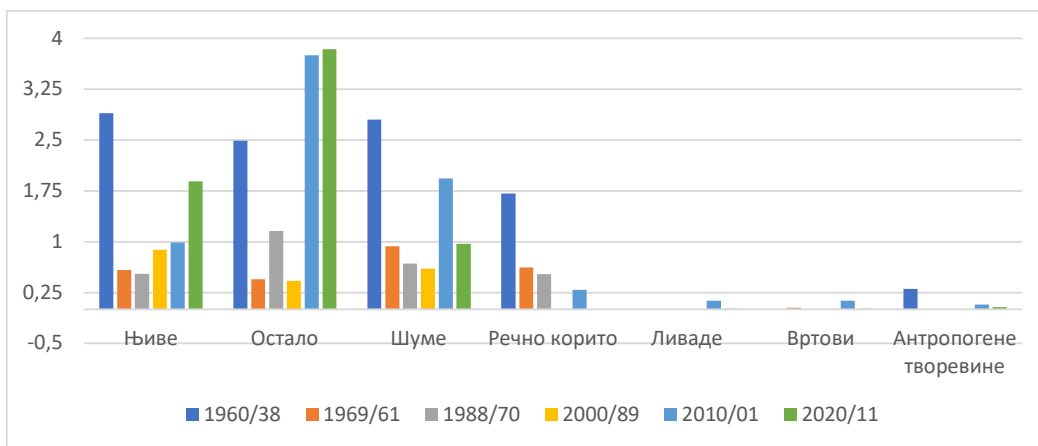
На основу доступних карата, као и података из катастра непокретности, приказан је губитак земљишних површина према различитим наменама коришћења земљишта (Таб. 38, Сл. 75). По заступљености одређених типова у поменути сврху укључене су пољопривредне површине (њиве, ливаде, вртови), шумско земљиште (шуме различите категорије), антропогене творевине (некатегорисани путеви), остаци некадашњег речног корита, као и остало плодно и неплодно земљиште које, пре свега, укључује спрудове и остале акумулације песка и шљунка.

С обзиром на висок степен ерозије обала не изненађује податак о највећој заступљености осталог неплодног или мање плодног земљишта у односу на укупно са 38,15% за све истраживане периоде. У наставку су наведени разлози таквог стања. Након процеса изражене ерозије обала на унутрашњој страни обале долази до формирања готово једнаких наслага спрудова који својим природним нарастањем, али и антропогеним утицајем добијају на све већој висини. С обзиром на слабију кохезивност материјала такве обале лакше бивају деградирани у наредним таласима, што се може сматрати једним од разлога високог процента деградације осталих површина. Други разлог се односи на чињеницу да се због честог плавења алувијалне равни Јужне Мораве у овом нестабилнијем делу сектора становништво ређе одлучује да такво земљиште приведи култури. Трећи разлог односи се на чињеницу да је током периода од 82 године дошло до промене начина коришћења земљишта, односно да локално становништво често по потреби део територије, обухваћене термином остало земљиште, претвара најчешће у вртове и оранице слабијег квалитета земљишта. Због тога се јављају потешкоће приликом исказивања процентуалног удела новоформираних

ораничних површина у категорији земљишта класификованог као остало. Због тога, ову групу земљишних ресурса треба само условно сагледати.

Након категорије остало земљиште, следе шуме (већином приватног власништва) са 24,9%, а затим оранице са 24,5%. Најмањи удео у укупним деградираним површинама покривен је вртовима (0,8%) и ливадама (0,5%), док је од антропогених творевина на овом сектору присутно једино деградирање сеоских путева у вредности од 0,407 ха или 1,3% од укупне површине.

Након представљених података потребно је осврнути се на категорије земљишта чијим се губитком јављају највеће економске последице по локално становништво – њиве и шуме. Током свих истраживаних периода деградирање обрадивих и пољопривредних површина је присутно са посебно значајним уделом у периоду најмањег деградирања 1989-2000. године (чак 46%). Такође, важно је истаћи и последњих 20 година када је видљиво поновно интензивирање процеса деградирања пољопривредног земљишта. *Деградирање ораница и њива је сигурно још веће и значајније када се узме у обзир да међу категоријом осталог земљишта постоје и оранице слабијег бонитета које нису регистроване у катастру непокретности, а видљиве су преко сателитских снимка.*

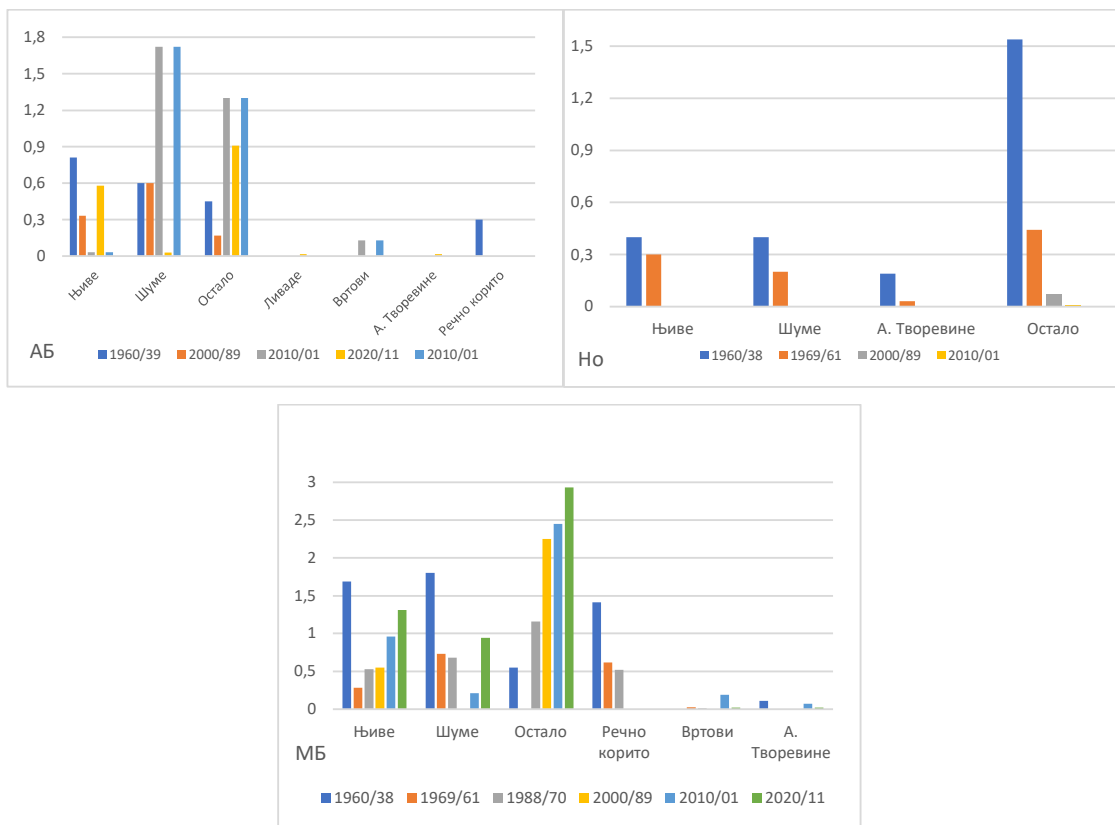


Сл. 75. Изгубљене површине земљишта у периоду 1938-2020. године на сектору I (M1 и M2)

Први истраживани сектор простире се на територији три катастарске општине: Алексиначки Бујмир, Моравски Бујмир и Нозрина. Услед различитог правца латералног померања и ерозије заступљеност поменуте три катастарске општине мењала се током истраживаног периода. Њихове границе дефинисане су у првој половини 20. века и углавном су пратиле линију талвега тадашњег речног корита Јужне Мораве. На Сл. 76 могу се увидети укупни губици различитих категорија земљишта према катастарским општинама. На територији Алексиначког Бујмира може се уочити константан пораст деградације већине категорија земљишта, што представља последицу ерозивног рада M1 који померајући се према североистоку деградирала десну обалу Јужне Мораве. На овом примеру посебно треба истаћи пораст деградације обрадивих површина у последњих 20 година када је уништено 37% ораница у односу на читав истраживани период. Поред тога, важан је и период 1939-1960. године када је деградирано 2,9 ха ораничних површина или поново око 37% од укупних површина под овом категоријом земљишта. *Који је разлог поновне интензификације деградирања пољопривредног земљишта после 30 година? Због интензивног померања тока, након уског појаса обалске вегетације и неплодног земљишта које је деградирано дужи временски период, ерозија обала захватила је пољопривредно земљиште и због његовог слабог ерозивног отпора интензитет померања је увећан.*

Најмањи удео истраживаног сектора налази се на територији катастарске општине Нозрина, на којем је само у првом временском периоду регистрован процес ерозије обала пољопривредних површина (ораница), шума, антропогених творевина и осталог неплодног

земљишта. Највећу површину посматраног сектора заузима катастарска општина Моравски Бујмир на којој је у већој или мањој мери присутно деградирање свих категорија земљишта. Посебно треба нагласити период последњих 20 година, када су досегнути максимуми деградације њива и осталог неплодног земљишта.



Сл. 76. Деградација одређених категорија земљишта према катастарским општинама: Алексиначки Бујмир, Нозрина и Моравски Бујмир

7.1.2. Изгубљене површине земљишта дуж сектора II

Репрезентативнији подаци о губитку земљишних површина видљиви су након анализе другог истраживаног сектора на којем је процес латералног померања и ерозије обала исказао правилну динамику током проучаваног периода. На дефинисаној територији и дужини обалске линије МЗ, процесом ерозије обала захваћено је у већој или мањој мери 393 катастарске парцеле различитих категорија и квалитета земљишта током периода 1938-2020. године (Сл. 74). Од укупног броја деградираних парцела највећи број лоциран је на територији катастарске општине Тешица (300 или 76,3%), док мањи број припада катастарској општини Дражевац (93 или 33,7%). Њихова укупна површина износи 118,6 ha, од чега атару села Тешица припада 91,2% површине (109,4 ha), док Дражевцу припада 9,2 ha. *Удео пољопривредних површина на територији катастарске општине Дражевац значајан је доказ за интензиван процес парцелизације земљишта где 93 парцеле захватају свега 9,2 ha земљишта.* На основу добијених прорачуна може се указати на чињеницу да је степен деградације пољопривредних површина већи на територији катастарске општине Дражевац где је 77,4% од укупно угрожене површине већ деградирано. У атару насеља Тешица проценат уништених површина износи 51,6%, због већег процентуалног удела површински великих парцела.

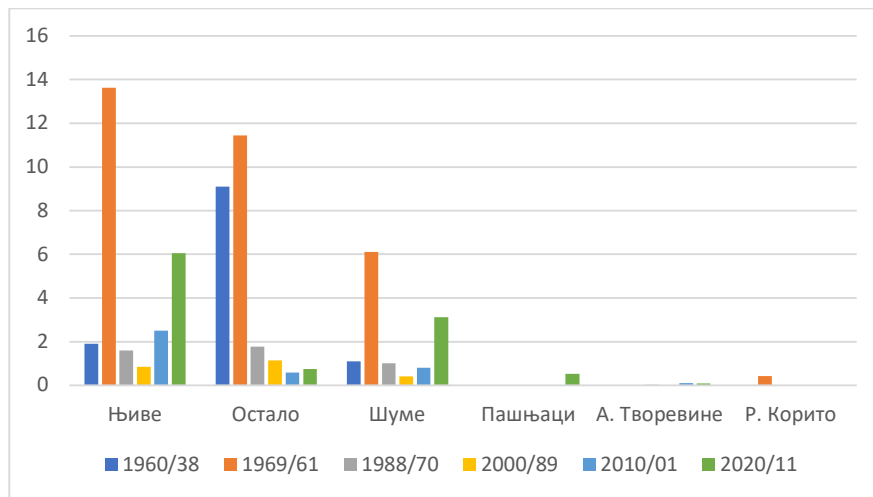
Таб. 39. Изгубљене површине земљишта (1938-2020) дуж сектору II (МЗ)

| Период Категорија | 1960/38. | 1969/61. | 1988/70. | 2000/89. | 2010/01. | 2020/11 | Укупно |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------|
| Њиве | 1,9 | 13,62 | 1,6 | 0,85 | 2,51 | 6,04 | 26,52 |
| Шуме | 1,1 | 6,12 | 1,0 | 0,41 | 0,81 | 3,12 | 12,56 |
| Пашњак | - | - | - | - | 0,0024 | 0,52 | 0,52 |
| Антр. творевине | - | - | 0,03 | - | 0,092 | 0,08 | 0,202 |
| Р. корито | - | 0,43 | - | - | - | - | 0,43 |
| Остало | 9,1 | 11,44 | 1,78 | 1,14 | 0,59 | 0,74 | 24,79 |
| Укупно | 12,1 | 31,61 | 4,41 | 2,4 | 4,01 | 10,5 | 65,03 |

Посматрајући податке из Таб. 39 може се констатовати да су укупни земљишни губици у периоду 1938-2020. године износили 65,03 ха, док су у периоду 1924-1938. године, за који не постоје подаци о типу и квалитету земљишта, износили 2,86 ха. Раније обрађеном анализом закључено је да је најактивнији период био 1960-1969. године када је 47,2% од укупне површине деградирано процесом ерозије обала. Поред њега, највећи интензитет деградација земљишних ресурса карактерише периоде 1938-1960. године са 12,1 ха (18,1%) и последњи истраживани период (2011-2020) са 10,3 ха (16,7%) изгубљених површина. Према томе, може се констатовати да је максимум интензитета процеса ерозије обала достигнут 60-их година прошлог века, након којег је присутан интензивни пад до почетка новог миленијума. Вршећи компаративну анализу података два циклуса од 10 година током 21. века, може се увидети пораст од готово 63% интензитета ерозије обала током другог истраживаног периода. Ова чињеница поспешује проблематику последица неповратног губитка земљишних ресурса.

Наставак анализе подразумевао је праћење динамике деградираних површина земљишта одређене категорије. За разлику од низводног сектора који је првобитно анализиран, на простору другог истраживачког сектора уочава се значајан удео ораничних површина у укупним губицима земљишта, нарочито у последња два временска периода када је њихов удео у укупним губицима износио преко 50%. Укупна деградирана површина пољопривредних области износила је 26,5 ха (41% од суме свих деградираних површина). Исказани податак још једном указује на значајну и деструктивну моћ МЗ који поред највише стопе регистрованог интензитета процеса латералног померања тока и ерозије обала бележи и највећи удео изгубљених обрадивих површина. Губитак пољопривредног земљишта је у последњих 10 година у односу на период 2001-2010. година готово утростручен (са 2,51 на 6,04 ха). У првој деценији 21. века удео ораница у укупним деградираним површинама износио је 62%, а у другој 57%. Резултат који показује да је 6,04 ха ораничних површина изгубљено у периоду од свега 10 година (0,6 ха/god) указује на сигнификантне економске последице за приватна домаћинства (Сл. 77).

Површински гледано, највећи број обрадивих површина које су деградирани процесом ерозије обала регистрован је у периоду 1960-1969. године, чак 13,62 ха (43,1% укупних земљишних губитака). Ерозивна отпорност пољопривредног земљишта најнижа је, о чему сведочи удео уништених површина у односу на укупан број угрожених површина – добијена вредност од 90,2% указује на потпуно деградацију утицај процеса ерозије обала на површине прекривене ораницама. У централним временским периодима близу трећине деградираних површина чиниле су оранице (трећи период – 1,6 ха или 36% и четврти период – 0,85 ха или 32,3%). Иако је током прве временске секвенце већа површина њива изгубљена процесом ерозије обала у односу на поменути два периода (1,9 ха) његов удео у укупној деградираној површини је знатно мањи и износи 15,7%.



Сл. 77. Изгубљене површине земљишта према у периоду 1938-2020. године дуж сектора II (МЗ)

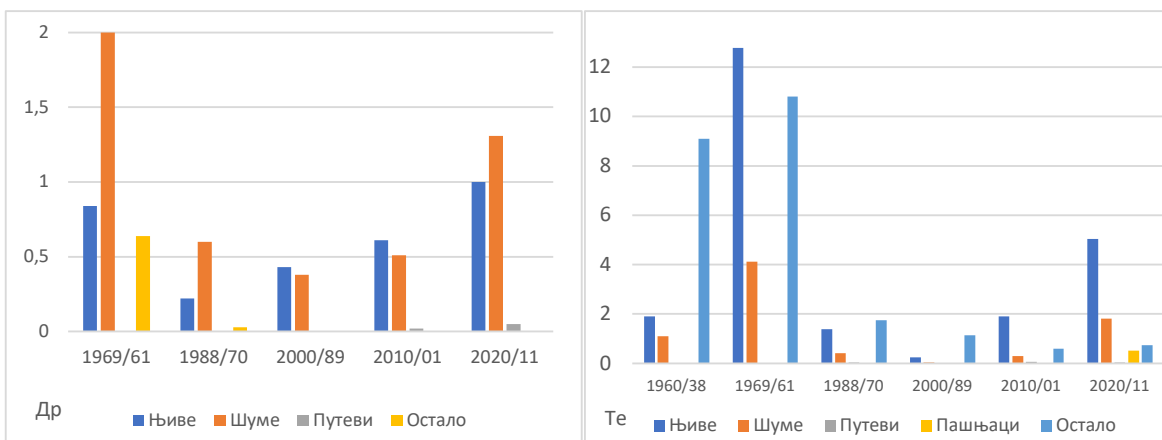
Од осталог пољопривредног земљишта важно је напоменути деградираност пашњачких површина чији је проценат заступљен током периода 2000-2010. године (0,06%) и 5,0% или 0,52 ha за период последњих десет година. Удео деградираних у угроженим површинама пашњака износи 44%, а његова осетно нижа вредност у односу на оранице последица је недостатка губитака поменутих површина током првих 80 година истраживаног периода. Успореним бочним померањем узводног дела меандра било је потребно 80 година како би се деградирани простори под шумама и жбунастом вегетацијом, док је након достизања пашњачких површина ерозивна моћ Јужне Мораве дошла до изражаја.

Деградирање шумског покривача је такође присутно на простору другог истраживаног сектора са највећим уделом у последњих десет година (29,7% од укупних губитака у истом периоду). Највећа површина под шумама у хектарима изгубљена је у периоду 1960-1969. године, чак 6,12 ha што представља готово 50% деградације шума у читавом проучаваном периоду. Због вегетацијске специфичности шумског покривача у свим временским периодима карактеристично је његово слабије уништавање у односу на пољопривредне површине. Удео деградираниг шумског земљишта у укупном за целокупан период студије износи 19,3% или 12,56 ha. Земљани и некатегорисани путеви уништени су процесом одношења обала у три периода (укупно 0,2 ha путева), са највећим уделом у последњих 20 година – са интензивним одношењем пољопривредних површина, деградирани су и оранични путеви лоцирани између парцела.

Остало пољопривредно и непољопривредно земљиште деградирано је интензивно у првом делу истраживаног периода, и обухватало је спрудне творевине, напуштена речна корита, речне рукавце и површине обрасле неплодним трстицима и шикарама. Њихов удео у периоду 1938-1960. године је доминантан и износи 75,2%. Разлог толико високог процентуалног удела лежи у чињеници деградације приобалног појаса десне обалске стране Јужне Мораве са којег није било култивисаних пољопривредних површина. Идући према савременом периоду, примат у потпуности преузимају пољопривредне и шумске површине, иако је током 1980-их и 1990-их година подједнако заступљен удео ораница и осталог земљишта.

Анализирајући територије две катастарске општине може се закључити да су на простору атара Дражевца доминанте деградиране површине чиниле шуме (4,8 ha) и оранице (3,1 ha). Највећи проценат шумског земљишта деградиран је током периода 1961-1969. године (2 ha) и периода 2011-2020. године (1,3 ha), док су оранице максимално деградиране у периоду 2011-2020. година (1 ha). У периоду 1938-1960. године, у оквиру посматраног истраживачког сектора, није регистрован процес ерозије обала на територији катастарске општине Дражевац. У атару насеља Тешица доминантне категорије деградираниг земљишта чиниле су њиве са 23,42 ha и остало земљиште са 24,79 ha. Другу наведену категорију прати градацијски пад у

домену ерозије обала почев од периода 1960-1969. године, док је деградирање орних површина интензивирано у последњих 10 година (просечна стопа одношења земљишта на територији катастарске општине Тешица износила је 0,48 ha/годишње) (Сл. 78).



Сл. 78. Деградиција одређених категорија земљишта према катастарским општинама: Дражевац и Тешица

7.1.3. Изгубљене површине земљишта дуж сектора III

За разлику од прва два сектора, трећу проучавану деоницу одликује висок интензитет процеса ерозије обала у првој половини анализираних периода (1924-1970), док су вредности интензитета у другој половини 20. века и почетком 21. века благо опадајући или стаганантни. Број угрожених или деградираних парцела у истраживаном периоду од 82 године износи 330, а оне су позиционирани на територији две општине Алексинац и Црвени Крст (Град Ниш), односно три катастарске општине (Грејач, Велики Дреновац и Доња Трнава) (Сл. 74). Највећи број њих размештен је на територији катастарске општине Грејач (203 или 61,5%), затим Велики Дреновац (110 или 33,3%), док се најмањи број налази у атару насеља Доња Трнава (17 или 5,15%) (Сл. 80). Укупни губитак земљишта на простору трећег истраживаног сектора износи 50,1 ha у периоду 1924-2020. године, а када се одузме први временски пресек за који не постоје подаци у вези са категоризацијом коришћења земљишта 29,32 ha. Укупна површина угрожених парцела у 82-годишњем посматраном периоду износи 56,83 ha, што указује на чињеницу да је 52,2% угрожених земљишних површина и деградирано.

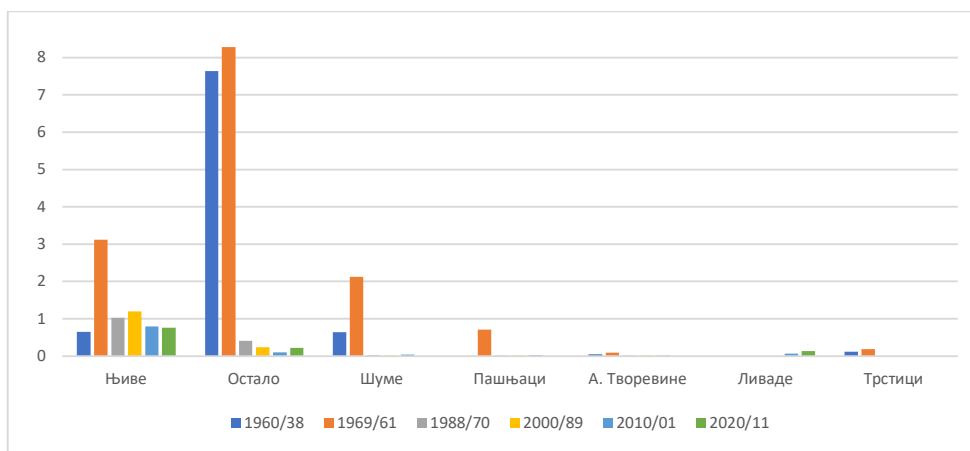
Таб. 40. Изгубљене површине земљишта (1938-2020) дуж сектора III (M4)

| Период Категорија | 1960/38. | 1969/61. | 1988/70. | 2000/89. | 2010/01. | 2020/11. | Укупно |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| | Ниве | 0,65 | 3,12 | 1,03 | 1,2 | 0,79 | |
| Шуме | 0,61 | 2,12 | 0,03 | 0,02 | 0,047 | - | 2,83 |
| Пашњак | - | 0,71 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | - | 0,78 |
| Ливаде | - | - | - | - | 0,07 | 0,135 | 0,21 |
| Вргови | - | - | - | - | - | 0,05 | 0,05 |
| Трстици и мочваре | 0,12 | 0,19 | - | - | - | - | 0,31 |
| Антр. творевине | 0,054 | 0,09 | 0,009 | 0,02 | 0,013 | - | 0,17 |
| Р. корито | 0,25 | 0,09 | - | - | - | - | 0,34 |
| Остало | 7,64 | 8,28 | 0,41 | 0,24 | 0,1 | 0,225 | 16,9 |
| Укупно | 9,32 | 14,6 | 1,5 | 1,5 | 1,05 | 1,17 | 29,32 |

Као и на претходним примерима, и у овом случају највећи интензитет ерозије обала током регистрован је током 60-их година прошлог века (готово 50% од детерминисаног периода

истраживања) (Таб. 40) Након њега следи период 1938-1960. године, када је деградирано 32,1% површина. Почев од 70-их година прошлог века уочава се благ опадајући тренд изгубљених површина са минималном вредношћу у последњем периоду 2011-2020. године (1,05 ха). Добијени подаци разликују се од тренда кретања деградираних површина на претходна два сектора, јер постоји одсуство интензивнијег померања у последњој декади. *Заправо, то се може објаснити на следећи начин: за меандар претходно дефинисаних морфометријских карактеристика, губитак земљишта од 1,17 ха за десет година не представља малу вредност, већ статистички поредећи са периодом 1930-их, 1940-их, 1950-их и 1960-их година његов удео се изузетно смањује; меандар је до краја 1960-их година имао знатно више димензије и био је другачијег морфолошког облика, а јасним диференцирањем узводног и низводног меандра од 1960-их година добија данашњу структуру која га одликује мањим вредностима свих показатеља у односу на раније етапе.*

Анализирајући према типовима земљишта можемо издвојити одређене разлике у односу на претходна два сектора. На посматраној деоници постојано је неколико различитих типова пољопривредног земљишта – њиве, пашњаци, ливаде, вртови и трстици и мочваре. Међутим, као и раније највећи значај имају ораничне површине, због њихове значајне заступљености и слабог ерозивног отпора. У читавом истраживаном периоду процесом ерозије обала изгубљено је 7,72 ха ораничних површина (углавном под кукурузом, пшеницом и јечмом). Иако је бројчано највише ораничних површина изгубљено у периоду 1960-их година (3,12 ха), након 1970. године њихов удео у односу на друге земљишне типове је доминантан. У периоду 1970-1988. године неповратно је изгубљено 1,03 ха њива (68,7% свих изгубљених површина у том периоду), 1989-2000. године 1,04 ха (80,1%), 2001-2010. године 0,78 ха (75%) и 2011-2020. године 0,75 (65%) (Сл. 79). Добијени подаци још једном потврђују значај постојање обрадивих површина дуж обалске линије за сам интензитет и моћност процеса. *Наиме, у последњих 50 година у сваком периоду су пољопривредне површине биле заступљене у распону од 65-80% у укупној ерозији обала, чак и током секвенци које се нису одликовале јаким екстремним воденим таласима и интензитетом процеса.*

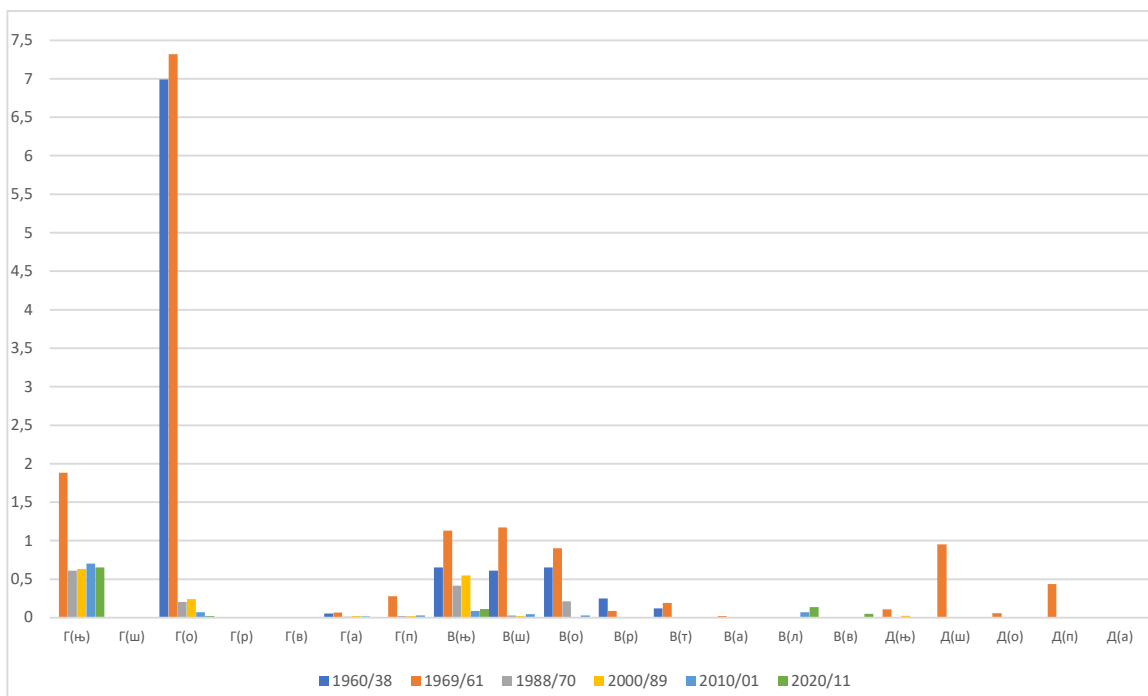


Сл. 79. Изгубљене површине земљишта у периоду 1938-2020. године дуж сектора III (M4)

Период пре 70-их година прошлог века карактерише интензивно латерално померање и лутање тока Јужне Мораве по алувијалној равни, а самим тим и процес одношења спрудних и флувијалних творевина приобалног појаса. О томе сведочи и доминантност групе осталог земљишта у проценту угрожених површина (први период – 82%, други период – 56%). У детерминисаном периоду истраживања процесом ерозије обала уништено је 0,78 ха пашњачких површина, највише у другој временској секвенци (0,71 ха). Површине у вредности од 0,21 ха под ливадама су такође деградиране у посматраном периоду. Њихово уништавање почиње почетком 21. века, док је интензивирање у последњих 10 година. У истом периоду процес померања речног тока условио је деградацију и вртова у вредности од 0,05 ха.

Поменути подаци, иако малих вредности, говоре о даљем правцу бочног кретања МЗ који се, гледајући процентуални удео нових типова земљишта, све више приближава делу атара са култивисаним парцелама. Интересантно је напоменути и угроженост пољопривредних површина под трстицима од 0,31 ха (током ранијих временских секвенци) (Таб. 40).

Осим пољопривредног земљишта у доста мањем обиму деградиране су и шумске заједнице (2,83 ха). Битно је нагласити да је еродобилност шумских заједница нижа у односу на пољопривредне површине и да она износи 46% у односу на укупне угрожене површине под шумама. У истом периоду процесом ерозије обала однето је и 0,17 ха пољских путева.



Сл. 80. Деградиција одређених категорија земљишта (њ – њива; ш – шума; р – речно корито; а – антропогене творевине; л – ливаде; п – пашњаџи; в – вртови; т - трстици; о – остало) на територији катастарских општина: Грејач (Г), Велики Дреновац (В) и Доња Трнава (Д)

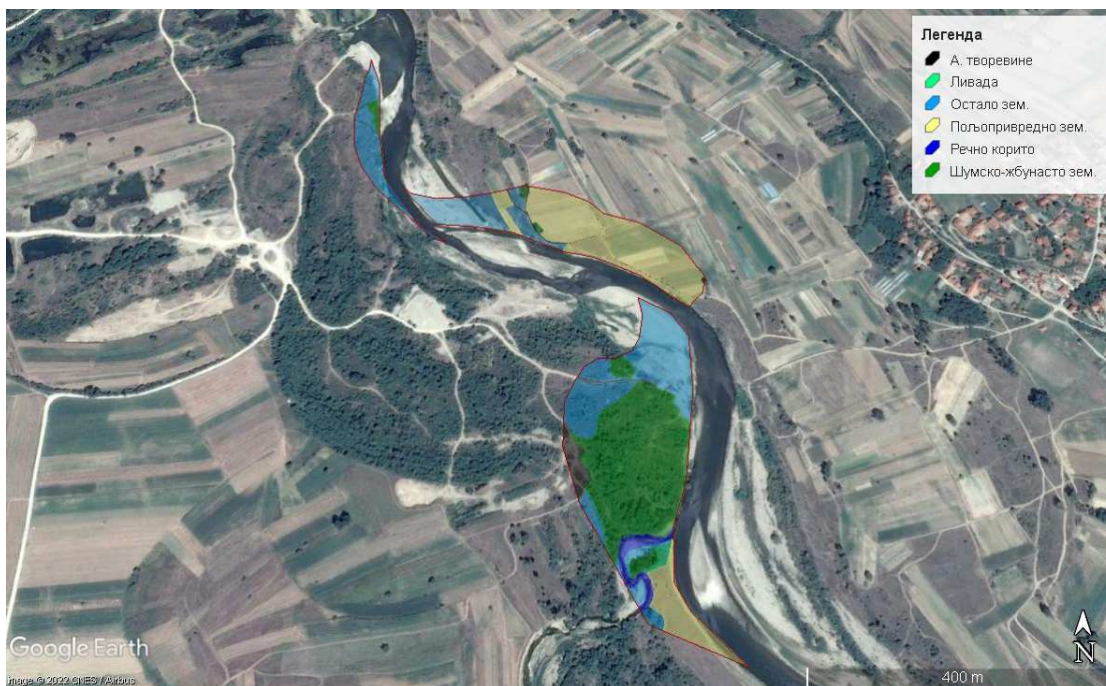
7.1.4. Изгубљене површине земљишта дуж сектора IV

Четврти истражни сектор одликује се специфичношћу јер је највећа површина која је изгубљена процесом ерозије обала у периоду 1938-2020. године одговарала некадашњем великом спруду који је касније антропогеним путем приведен култури. Из тог разлога подаци о парцелама и коришћењу земљишта нису доступни – цео спруд се према доступним катастарским изворима и даље води под категорију остало неплодно земљиште, иако је, према сателитским снимцима из периода последњих 10 година, видљиво постојање јасно дефинисаних парцела са пољопривредним земљиштем било у облику њива или вртова. Из тог разлога није могуће описати конкретне губитке у ранијим истраживаним епохама користећи релевантне податке о типу земљишта.

Ипак, на основу доступних сателитских снимака из периода 2010 – 2020. године могу се сагледати изгубљене површине у датом временском оквиру, у контексту односа између пољопривредног – шумског – осталог земљишта. Након анализе истих утврђени су различити процентуални удели у зависности од меандра. Превасходно, издвојено је неколико типова покривача: пољопривредно земљиште (груписане њиве, вртови и баште), шумско-жбунаста вегетација обалског појаса, ливаде, антропогене творевине, речно корито и остало земљиште (Сл. 81). На основу добијених резултата утврђено је да на простору М5 доминира деградирање

осталог (спрудног) земљишта са вредношћу од 0,99 ha или 89% од свих категорија које су заступљене. Реч је о младом меандру чији је правац бочног померања усмерен према некадашњој траси из 1970-их и 1980-их година. Остатак од 11% чине мали сегменти некатегорисаног пута и шумско-жбунате вегетације.

Потпуно супротно М5, у обалском појасу М6 у периоду 2011-2020. године процесом ерозије обала изгубљена је знатно већа површина земљишта (4,22 ha). Доминантни удео деградираних површина чине пољопривредне површине (69,2%). Реч је о делу некадашњег великог спруда који се пружао на запад све до насеља Грданица, а чије је земљиште након померања речног тока постало пољопривредно. Знатан проценат у укупном губитку земљишта захвата и спруд у најузводнијем делу сектора (26,2%). Наиме, због изразитог померања у североисточном правцу, М6 еродира спруд М5 чиме се повећава удео осталог земљишта у укупном деградираним. Са 2,79% присутни су сеоски путеви који су формиран са развојем пољопривреде на некадашњем неплодном земљишту, док су фрагментирани делови ритске шумско-жбунасте вегетације присутни са 1,8% (0,06 ha) (Сл. 80).



Сл. 81. Ортофото снимак из 2011. године са назначеним губитком земљишта према категоријама у периоду 2020/2011. године на сектору IV (М5, М6 и М7)

Меандар на којем је регистрован највећи интензитет деградације обалске линије је М7, са вредношћу од 6,4 ha. На истом је забележен и највећи диверзитет земљишних класа које су изгубљене, међу којима доминирају шумско-жбунаста вегетација (3,1 ha или 48,1%) и остало земљиште (2,15 ha или 33,6%). Специфична појава код М7 је изразит процес ерозије обала Јужне Мораве у последњих 10 година, што је условило потпуно деградације зоне ушћа реке Јабланице које је из тог разлога измештено узводније од меандра. На простору некадашњег најнизовнијег меандра реке Јабланице према стању из 2020. године налази се спруд Јужне Мораве (М7).

Пољопривредне површине око леве обалске стране М7 деградирани су у обиму од 0,6 ha или 9,3%, док је у централном делу присутан и један мали сегмент ливада (0,06 ha). На крају је важно напоменути и деградације антропогених површина које се по први пут, осим атарским путевима, одликују површинама под инфраструктуром за потребе експлоатације шљунка и песка са простора леве стране инундационе равни Јужне Мораве. Поменута делатност је врло активна у проучаваном подручју и један од фактора константне нестабилности ове деонице

Јужне Мораве. Снижавањем висине алувијалне равни као последица експлоатације антропогеним путем утиче се на лакши процес латералног лутања тока и на повећање нестабилности обалског појаса.

7.2. Губитак и промена намене коришћења земљишта у рецентном периоду

Током експерименталног периода у трајању од две године (новембар 2019 – новембар 2021 године) у току рада су сагледани укупни губици изазвани дејством процеса ерозије обала. Међутим, у циљу утврђивања правих економских последица процеса потребно је, слично као и током еволутивног периода, сагледати тип површина које су изгубљене. Поред прављења базе за утврђивање економских последица, овакав тип истраживања омогућиће и основу за детерминисање фактора вегетације као важног чиниоца за редуковање процеса флувијалне ерозије. Из анализе је, због претходно поменутих разлога искључен сектор IV.

Анализирајући према броју угрожених парцела, процесом ерозије обала у периоду истраживања, може се закључити њихов значај удео. Број парцела који је угрожен делимично или у потпуности варирао је у зависности од меандра: М1 – 24 (Алексиначки Бујмир), М2 – 29 (Моравски Бујмир и Нозрина), М3 – 69 (Тешица и Дражевац) и М4 – 54 (Велики Дреновац, Грејач и Доња Трнава). Према томе, за период од свега две године на територији општине Алексинац (изузимајући две парцеле на територији Града Ниша) угрожено је процесом ерозије обала чак **176 парцела**. Како би се прегледније представили губици по примарни сектор делатности потребно је увидети удео сваке од категорија изгубљеног земљишта са посебним акцентом на шумско и пољопривредно земљиште. *Иако је највише угрожених парцела под ораничном производњом, не треба одмах доносити закључак да је највише изгубљених пољопривредних површина дуж свих меандара. Опште је позната чињеница да ситна парцелизација прати типове пољопривредног земљишта (вртове и њиве).*

Таб. 41. Изгубљено земљиште (ha) у рецентном периоду дуж обала четири меандра општине Алексинац

| Категорија | Њиве | Шума | А. Творевине | Пашњаци | Ливаде | Остало | Укупно | |
|------------|------|--------|-----------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| М1 | П 1 | 0,05 | - | 0,0003 | - | - | 0,029 | 0,079 |
| | П 2 | 0,005 | - | - | - | - | 0,0029 | 0,0079 |
| | П 3 | 0,093 | - | - | - | - | 0,0064 | 0,1 |
| | П 4 | 0,024 | - | - | - | - | 0,013 | 0,037 |
| | У | 0,172 | - | 0,0003 | - | - | 0,05 | 0,23 |
| М2 | П 1 | 0,046 | - | - | 0,0042 | - | 0,165 | 0,215 |
| | П 2 | 0,0035 | - | - | 0,0005 | - | 0,028 | 0,064 |
| | П 3 | 0,11 | - | - | 0,0053 | - | 0,245 | 0,356 |
| | П 4 | 0,055 | - | - | 0,0002 | - | 0,045 | 0,1 |
| | У | 0,24 | - | - | 0,01 | - | 0,48 | 0,72 |
| М3 | П 1 | 0,61 | 0,257 | 0,003 | 0,03 | - | 0,01 | 0,91 |
| | П 2 | 0,021 | 0,01 | 0,0003 | 0,005 | - | 0,007 | 0,043 |
| | П 3 | 0,89 | 0,26 | 0,0047 | 0,018 | - | 0,05 | 1,22 |
| | П 4 | 0,357 | 0,13 | 0,0002 | 0,051 | - | 0,009 | 0,55 |
| | У | 1,88 | 0,66 | 0,008 | 0,10 | - | 0,078 | 2,72 |
| М4 | П 1 | 0,07 | 0,001 | 0,0002 | 0,0009 | 0,008 | 0,02 | 0,10 |
| | П 2 | 0,008 | - | - | - | 0,001 | 0,003 | 0,013 |
| | П 3 | 0,039 | 0,0001 | 0,0004 | - | 0,007 | 0,016 | 0,063 |
| | П 4 | 0,018 | - | - | - | 0,002 | 0,007 | 0,028 |
| | У | 0,13 | 0,001 | 0,0006 | 0,0009 | 0,018 | 0,028 | 0,18 |

П1 – период новембар 2019 – август 2020; П2 – август 2020 – новембар 2020; П3 – новембар 2020 – март 2021; П4 – март 2021 – новембар 2021; У – укупан период

Као што је претходно образложено, М1 се одликује претежно осталом категоризацијом типа и намене коришћења земљишта, која подразумева смену обалске вегетације и деградираних ораница у току целокупне еволуције. Међутим, посматрајући период од последње две године (Таб. 41) могу се уочити одређене измене. Оранице и њиве углавном четврте категорије квалитета преузимају примат у уделу деградираних површина са 53,6% (0,172 ha) (Сл. 65) . На другом месту је остало неплодно и полу-плодно земљиште са 46,2% (0,05 ha), док 0,2% чини део антропогених творевина (земљани пут). Анализирајући по временским секвенцама можемо увидети да је удео ораница током већине истраживаног периода био већи, осим током трећег (најјачег) периода када су доминантно деградиране остале површине. Земљани пут уништен је током првог временског пресека. Све деградиране површине налазе се на територији катастарске општине Алексиначки Бујмир.

Дуж обалског појаса М2 највећи удео деградираних површина отпада на остало земљиште (66,5%), док су на другом месту чисте ораничне површине са уделом од 33,3%. Пашњачке творевине чине 1,6% деградираних површина у периоду од две године. Посматрајући Сл. 66 може се увидети да већину земљишта чини некултивисан део прекривен зељастом вегетацијом. *Међутим, на истом појасу видљиви су трагови напуштених њива што упућује на то да је простор у једном моменту коришћен у сврху пољопривреде. Процес промене намене коришћења земљишта на потенцијално деградираној обали представља правилност, јер локално становништво у страху да ће река еродирати њихова имања иста напуштају.* Током другог и четвртог периода оранице су биле доминантни тип деградираних површина у односу на друга два периода. Највећи део деградираних површина налази се на простору катастарске општине Моравски Бујмир (75,2%), док се удео од 24,8% налази на територији катастарске општине Нозрина (остало земљиште и антропогене творевине).

М3 представља сегмент са највећим интензитетом процеса ерозије обала, те је и највећа оранична површина управо на овом простору деградирана (Сл. 67). Великих 64% (1,88 ha) свих губитака деловањем процеса ерозије обала чине њиве које су највише страдале током трећег и првог референтног периода. Готово 90% свих деградираних пољопривредних површина лоцирано је у оквиру катастарске општине Тешица, док мањи број (иако веома парцелисан) отпада на атар насеља Дражевац. У истим периодима, значајан притисак процеса ерозије обала био је и на шумског земљишту, када је деградирано укупно 0,66 ha (29,8%). За разлику од њива, сада је нешто већи удео шумског земљишта Дражевца у односу на Тешицу (16,8%). Удео осталог земљишта у укупном је на минималној вредности од свега 2,67%, од које је највећим делом деградирано у току трећег периода на територији катастарске општине Тешица. Важно је назначити удео пашњачких површина са 3,6% или 0,1 ha (Тешица), с обзиром да их на низводнијим меандрима није било. За разлику од њива и шума, највећа површина под пашњацима еродирана је у последњем референтном временском интервалу. Категорија која се одликује ниским процентуалном уделом изгубљених површина су локални путеви са 0,008 ha.

Најузводнији од меандара Алексиначке котлине, одликује изражен процес деградирања ораничних површина у односу на друге категорије земљишта (75,8%) (Сл. 68). Међутим, посматрано површински можемо увидети да је једино мање њива изгубљено на М1. Око 28% њива деградирано је у периоду новембар 2020 – март 2021. године. Остало земљиште, углавном карактерисано шумско-жбунастом вегетацијом ниског квалитета, деградирано је у процентуалном уделу од 12,7%. На трећем месту се налазе ливадски комплекси са 0,018 ha са 10%, док се значајно малим уделом карактеришу губици шумских и пашњачких површина и сеоских путева. Анализирајући према катастарским општинама може се увидети да су најважнији тип земљишта за пољопривредну производњу (њиве) у 62% деградиране на територији катастарске општине Велики Дреновац, а у мањем обиму у атару села Грејач (37,5%) и минималним уделом у атару насеља Доња Трнава ,у којој уједно чине и једну категорију земљишта која је деградирана. За разлику од ораница остало земљиште је површински више уништено процесом ерозије обала на територији катастарске општине Грејач (слично као и током дугорочних губитака земљишта). Ливаде су у износу од 100%

размештене на простору Великог Дреновца, док је обрнут случај са антропогеним творевинама и пашњацима.

7.3. Економске последице губитка земљишта

Након детаљне анализе интергодишњих и сезонских губитака различитих категорија земљишта, важан сегмент представља квантификовање реалних економских последица. На три истраживана сектора на територији општине Алексинац укупни губици чистих ораничних површина износе 42,3 ha у посматраном периоду истраживања (1924-2020). На основу теренских опсервација, литературе и доступних картографских прилога, утврђено је да су на највећем делу изгубљених површина узгајани кукуруз (60%) и пшеница, заједно са хибридним врстама пшенице и јечма (40%). Деградацијом обалских површина изгубљено је најплодније земљиште, а директну последицу осећа локално становништво чије су парцеле лоциране у угроженом подручју и који своје материјалне приходе остварују од пољопривреде. Као што је раније речено, 85% изгубљених површина на свим меандрима у приватном је власништву (што је посебно карактеристично за пољопривредне површине). *Међутим, у оквиру „осталих површина“ значајан удео чине њиве лошијег квалитета које за наредну процену нису узете у обзир.*

Укупна површина под кукурузом која је неповратно изгубљена у истражном периоду износила је 25,2 ha, док је површина под пшеницом износила 16,8 ha. На основу податка о просечном приносу обе културе може се извршити процена економских губитака. Просечан принос кукуруза у периоду 1930-2010. године износио је 4.270 kg/ha, док је просечан принос пшенице износио 3.270 kg/ha (Драгићевић и сар., 2015). Даљом квантификацијом утврђен је потенцијални годишњи принос обе врсте (107.604 kg за кукуруз и 54.936 kg за пшеницу). С обзиром на високу варијацију откупне цене обе житарице у дугом временском оквиру, као и честе монетарне промене, тешко је утврдити тачну продајну цену култура. Међутим, уколико се примени просечна откупна цена кукуруза и пшенице из периода 1990-2018. године на читав истражни период процењују се укупни новчани губици од 840.314 EUR (кукуруз) и 372.563 EUR (пшеница). У случају да је само током једне године извршена деградација свих 42,3 ha пољопривредних површина потенцијални губици би имали процењену вредност од 2.425.725 EUR. Ипак, с обзиром на чињеницу да се током периода од 97 година пољопривредна производња одвијала на делу ораница које нису биле захваћене процесом ерозије обала у датом тренутку, вредност укупних економских губитака умањени су и процењени на 1.212.877 EUR. Економски губици нису исти у свим истраживаним периодима што зависи од укупне површине изгубљених парцела, али и продајне цене обе културе. Најинтензивнији губици регистровани су у периоду 1961-1969. година.

Добијени подаци указују на постојање значајних економских губитака као последица изражене ерозије обала на простору три истражна сектора на територији општине Алексинац. За будућу детаљнију анализу потребно је укључити и остале факторе који доприносе формирању крајњих економских губитака попут трошкова улагања приватних власника, смањења евентуалног прихода од продаје земљишта лоцираног дуж деградираних обала, плаћање пореза на ораницу која је деградирана и просечну откупну цену за читав период, итд. Потребно је нарочито истаћи две чињенице – да постоји висок интензитет деградације пољопривредних површина у савременом периоду, као и да је откупна цена обе житарице повећана у периоду 2021-2022. године.

Посматрајући период од 24 месеца (новембар 2019 – новембар 2021) процењени губици пшенице износе 2,284 ha за кукуруз и 1,525 ha за пшеницу. По истом принципу могуће је сагледати економске последице које за три истражна сектора износе 3.305 EUR за кукурузне површине, односно 1.690 EUR за пшеничне површине. Стога је могуће проценити реалне економске губитке у вредности од 4.995 EUR или 2.497 EUR/годишње. Добијена вредност указује на појачан интензитет деградације ораничних површина током истражног периода.

Израженији губици, последица су и различите откупне цене обе културе у односу на претходни 97-годишњи период.

На основу експерименталног истраживања које је спровела компанија KWS (2020) у циљу утврђивања приноса кукуруза и пшенице по хектару у Србији, једно огледно одељење покрило је територију општине Алексинац и Црвени Крст у атару насеља Комрен, Катун и Горња Топоница. С обзиром на малу географску удаљеност насеља у односу на три истражна сектора, дату вредност могуће је искористити приликом процене економских губитака. У истраживању су узете у обзир високо приносне сорте кукуруза које се све више узгајају уз примену агротехничких мера. Приноси поменутих сорти износе и до 11.000 kg/ha, док је то код пшенице 7.500 kg/ha. Узимајући у обзир само грубу процену без укључивања свих потребних варијабли у виду трошкова и добити, са просечном вредношћу дефинисане прометне стопе обе културе за период 2019-2021. године, добијају се губици од 8.516 EUR за кукуруз и 3.857 EUR за пшеницу. Иако није вероватно очекивати узгајање сорти са високим приносом дуж деградираних обала Јужне Мораве у великом обиму, установљена плодност земљишта то дозвољава. Међутим, уколико се интензитет померања и деградирања обала настави у наредном периоду све квалитетније пољопривредне површине биће деградирани, а економске последице увећаване.

Поставља се питање да ли је могуће умањити ефекат директних економских последица? Уређење обалског појаса и изградња обалоутврда представља један од ефикасних и брзих решења која је на току Јужне Мораве често примењивана. Директна угроженост насеља и инфраструктуре представља најчешћи узрок оперативне заштите и санирање деградираних обала (нпр. обалоутврда код насеља Тешица и Банковац). Веома слаб удео тржишно оријентисане пољопривредне производње дуж свих сектора представља одбијајући фактор за такав вид инвестиције, иако су локални губици приватних власника изразити. Стога је у наставку извршена процена исплативости изградње обалоутврде на угроженој обали МЗ (код Тешице), као и површина пољопривредног земљишта која би била „сачувана“ од дејства ерозије обала.

Анализа претходних резултата указала је на интензивирање процеса ерозије обала на датом меандру у периоду 2011-2020. године. Сходно томе, процењени економски губици за овај период износе 19.616 EUR. Ранијим истраживањима (Dragičević et al., 2013) утврђено је да процењени трошак изградње обалоутврде износи 495 EUR/m, те би у овом случају укупни трошкови изградње износили око 66.300 EUR. Изградњом обалоутврде на почетку посматраног периода (2011. године) спречио би се губитак 6,6 ha у периоду од 10 година. На основу процењених података дата је рачуница за колико година би се у потпуности исплатила инвестиција изградње потенцијалне обалоутврде уколико би процес истим интензитетом био присутан у будућности. Потпуну исплативост инвестиција би достигла за око 30 година од периода изградње, односно 2040. године. С обзиром на даљу непредвидљивост динамике морфолошке еволуције обала (о чему сведочи пораст интензитета ерозије обала у рецентном периоду два пута у односу на претходни период од 10 година) постоји могућност достизања прага исплативости и знатно раније. Важно је назначити да поменуто индивидуално и парцијално решење није најрационалније, већ је потребно применити интегрални приступ заштите обалског појаса. Под приступом се подразумева комплексно сагледавање угрожене деонице, прорачун економске исплативости спровођења одређене мера заштите и избор друштвено и визуелно прихватљивог решења са минималним негативним утицајем на животну средину (Babić-Mladenović, 2018).

7.4. Еколошке последице услед процеса ерозије обала

Еколошки аспект проучавања последица или ефеката феномена ерозије обала и акумулације еродованог материјала нема дугу истраживачку прошлост у оквиру научних и практичних студија. Овакав приступ у ширем контексту подразумева постојање дилеме у научним

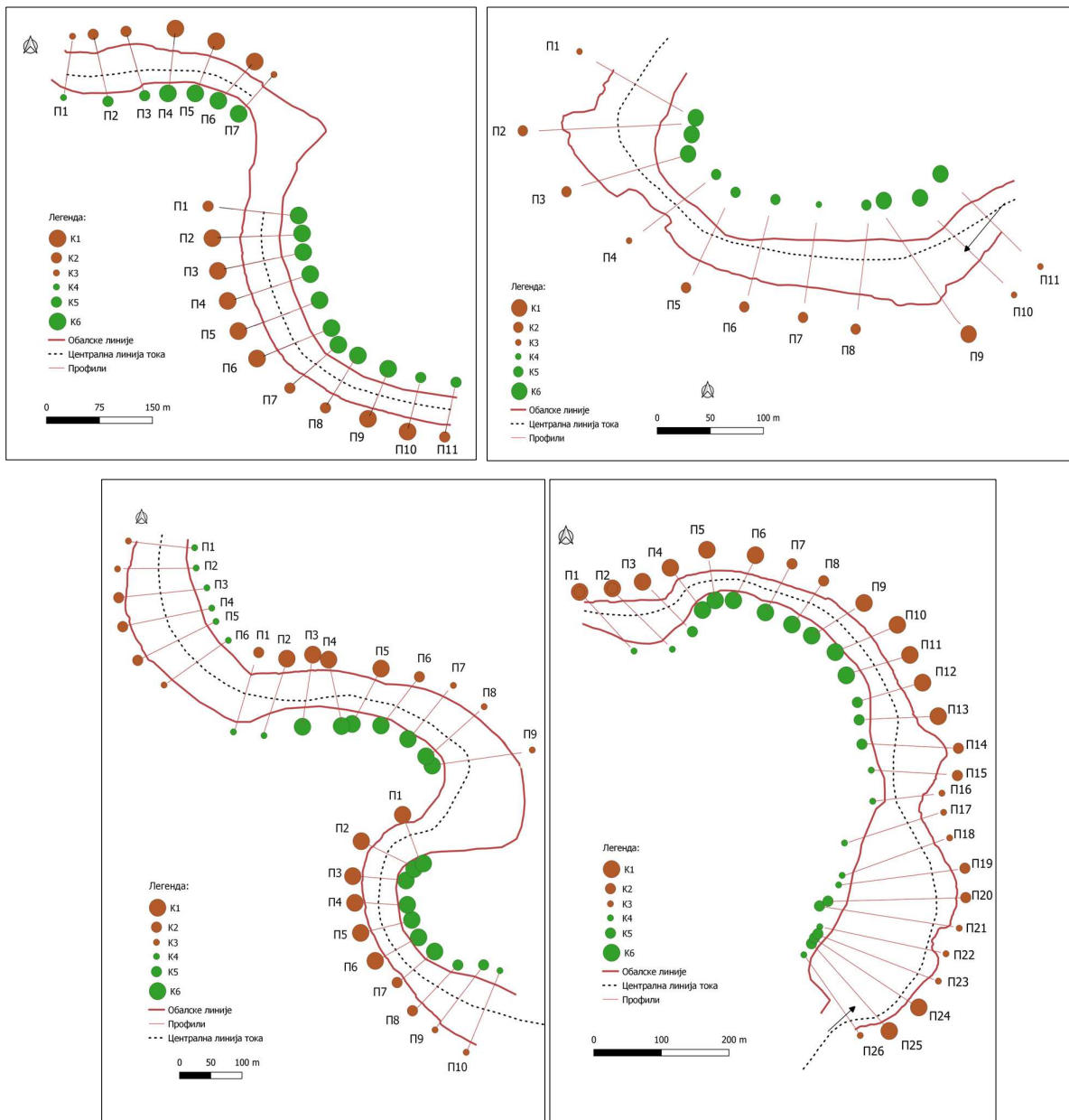
круговима у вези са сагледавањем процеса ерозије обала и латералног померања речног тока према природном окружењу. *Да ли се ефекти процеса ерозије примарно морају посматрати са аспекта деградације обала, уништавања пољопривредних површина, угрожавања инфраструктуре, насеља, итд., или се секундарно могу издвојити и одређени позитивни ефекти процеса?* Са једне стране под еколошким последицама подразумева се губитак земљишта различитих категорија, засипање речног корита и повећање мутноће воде, промена хемијских особина и квалитета воде у рекама, уносом различитих нутритијената и једињења са деградираних обала, повећање концентрације тешких метала у речном наносу, итд. (Mondal & Tripathy, 2020). Посебно је значајна количина хемијских једињења из пестицида која су заједно са деградираним ораничним површином таложена на спрудовима конвексних страна. *Према томе, нестанак квалитетног ораничног земљишта, а настанак контаминираних и загађених површина.* Са друге стране, „позитивни ефекти“, пре свега подразумевају ширење и дисперзију обалских екосистема на простору новонасталих спрудних површина. Међутим, и положај и изглед деградираних обала утичу на стварање нових станишта врста орнитофауне, што доприноси повећању диверзитета микро екосистема деградираних обала.

Концепт позитивног размишљања у вези са проблематиком ерозије обала препозната је у савременим научним радовима код више аутора (Piegay et al., 1999a; Bertalan et al., 2018). Латерална миграција тока иницира комплексне и динамичне биогеографске одговоре који су фундаментални у стварању и одржавању обалских станишта дуж реке. У пракси је то посебно препознато у домену управљања водним ресурсима, те је предложен назив концепта „еродирајући концепт коридора“ (ЕСС), који се темељи на идеји слободног мигрирања речног тока дефинисаним коридорима. Овакве идеје упориште имају у ранијим географским, инжњерским и еколошким радовима (Govil & Turrilo, 1994; Nieznanski et al., 2008). Поменути концепт представља један вид алтернативе традиционалним решењима за последице и проблеме које изазива ерозије обала. Концепт се заснива на јасном дефинисању коридора на простору алувијалне равни реке, у оквиру којих нема антропогених делатности нити регулационих и пројектно-заштитних радова. Основни циљ примене концепта је стварање равнотеже између користи за природну средину проистекле из могућности речног тока да се слободно латерално помера. Основна мана концепта је немогућност његове примене дуж токова који пролазе дуж насеља и густо насељених подручја.

Последица процеса латералног померања представља и чување заштитне вредности једног мочварног екосистема, посебно у ери све чешћег претварања земљишта дуж река у пољопривредно или са друге стране девастирања подручја дуж реке под утицајем експлоатације шљунка или песка. Такви примери су видљиви и на простору референтних сектора. Бочно померање М7 условљено је, поред варијација основних хидролошких показатеља, и константним ширењем зоне експлоатационог подручја. На тај начин новонастале спрудне површине уместо функције еколошких оаза и станишта бројних биљних и животињских врста, добијају улогу „копова“. Слична ситуација регистрована је и код М4 у чијој се меандарској кривини налази једно од експлоатационих подручја.

Са друге стране, позитивни ефекти настанка поменутих површина процесом ерозије обала и акумулације материјала укључују формирање нових станишта за врсте орнитофауне. Долина Јужне Мораве представља важну миграторну руту за бројне врсте птица приликом процеса сеобе из северних крајева према Средоземљу (рода, корморан, дивља патка). Осим тога, високи одсеци деградираних обала Јужне Мораве представљају адекватно и постојано станиште више врста сисара, птица, гмизаваца и инсеката. Својом активношћу они могу додатно утицати на дестабилизацију обале (формирањем гнезда у високом положају обале) или њену додатну стабилизацију (побољшањем квалитета земљишта). Један од циљева будућих свеобухватних истраживања физичко-географских карактеристика простора деградираних обала Јужне Мораве треба да укључе и системска проучавања еколошких ефеката процеса, у циљу могућности имплементације дефинисаног еколошког концепта.

Један од еколошких индикатора стања обалског појаса током / након интензивне флувијалне активности, односно ерозије обала и акумулације еродираниг материјала укључује дефинисање и издвајање типова обала. Поред интензитета процеса важан фактор у детерминисању типова представља вегетација, односно брзина и моћност њеног деловања на угрожено подручје. Стога је, на основу објашњеног методолошког поступка извршена анализа последица процеса ерозије и акумулације у обалском појасу. Иста је укључила детерминисање типова деградираних обала на основу њихових основних морфометријских и вегетацијских карактеристика. Том приликом, извршена је категоризација на по три типа деградираних и акумулираних обала, које су у већој или мањој мери присутне на референтним меандрима.



Сл. 82. Типови обала према кластер анализи: M1 и M2 (горe лево), M3 (доле десно), M4 (горe десно), M5, M6 и M7 (доле лево)

Резултати (Сл. 82) су указали да се појава одређеног типа деградиране обале разликује у зависности од сектора, што је директна последица процеса ерозије обала и латералног померања тока. Анализом је указано да деградиране или рушевне обале (К1) бројчано и уделом доминирају на M2 (потез П1-П6), M3 (П1-П6, П9-П13, П24-П25) и M7 (П1-П6), док се на M1

(П4-П6), М4 (П9) и М6 (П2-П5) јављају спорадично и у мањем обиму. На М5 није забележена ниједна деградирана обала ове категорије. Оне се одликују изразитим степеном подривености због дуге изложености дејству ерозије обала, великим нагибом и готово су без присуства густог вегетационог покривача (он је присутан у виду травнатих и ораничних површина). Друга категорија деградираних обала (К2) које карактерише мања изложеност интензитету ерозије обала, жбунасти до ниско дрвенасти вид вегетације и мањи нагиб постојана је на свим меандрима са спољне стране обале. Категорија (К3) деградираних обала карактерише се најмањим степеном изложености ерозији обала које у посматраном експерименталном периоду бележе најмање стопе интензитета процеса. Категорија (К4) подразумева ниску стопу акумулације седимената и укључује њихово минимално задржавање (најчешће бивају одношени снагом тока). Категорија (К5) означава спрудну формацију на којој има проређене вегетације, док категорија 6 подразумева у потпуно развијен спруд прекривен вегетацијом.

8. ФИЗИЧКО-ГЕОГРАФСКИ УЗРОЦИ ЕРОЗИЈЕ ОБАЛА

Један од основних циљева докторске дисертације представља утврђивање географских узрока који су у дугорочном или краткорочном периоду имали утицаја на специфичност просторно-временске динамике ерозије обала. Активне меандрирајуће реке представљају динамичне флувијалне творевине које су веома осетљиве на промене у окружењу и животној средини. У фази припреме израде овог поглавља издвојен је списак утицаја који се најрационалније могу идентификовати као значајни и подстицајни репери процеса латералног померања и ерозије обала. Раније је напоменут значај више група различитих фактора, међу којима се посебно издвајају физичко-географски (геолошки, орографски, климатолошки, хидролошки, педолошки и вегетацијски) и друштвено-географски (директни и индиректни утицаји човекових активности). Међутим, специфичност терена истраживања, карактеристика речног тока и вредности квантификованих процеса изучавања условила је потребу посебног испитивања неколико група фактора за које, на основу теренских истраживања и просторног разумевања, постоје индикације да су најважнији.

Из тог разлога извршена је обрада, пре свега, хидролошке групе фактора, али и климатолошке, вегетацијске и псамолошке. С обзиром на дефинисан предмет и циљеве дисертације, наведене групе фактора обрађене су по принципу „од општег ка посебном“, придржавајући се усвојених принципа о просторном аспекту истраживања.

У основи је потребно диференцирати факторе на две важне групе - прву која својим сталним постојањем утиче на интензитет процеса ерозије обала, и другу чије вредности показатеља константно варирају у просторно-временском односу. Прва група фактора укључује факторе геотектонике, геологије, орографске факторе и педолошке факторе. Другу групу сачињавају хидролошки, метеоролошки, псамолошки и антропогени фактори, док се фактор вегетационог покривача може сврстати као везивна категорија у зависности од локалних услова терена.

8.1. Варијације основних климатских елемената као узрок процеса ерозије обала

Прва група фактора чији ће утицај на динамику процеса ерозије обала и латералног померања тока бити анализиран су климатски активатори (Stark et al., 2010). У овом контексту мисли се пре свега на варијације одређених показатеља климатских елемената који могу диктирати и усмеравати осцилације интензитета процеса ерозије обала. Климатски узрочници промене интензитета процеса ерозије обала манифестују се двојачко: директно - кроз утицај на варијације хидролошких параметара (Rosca et al., 2015), и индиректно - кроз вишегодишњи утицај на друге факторе попут земљишта, вегетације, антропогених активности у сливу, итд. Сагледавање само групе климатских узрока без укључивања хидролошких нема научно-истраживачку основу, већ се обе групе фактора морају заједнички перципирати као вид узрочно-последичног система. Тако се на свеобухватан начин приступа проблематици узрока повећања или смањења интензитета процеса ерозије обала.

У циљу што ефективнијих резултата и њихове анализе, за потребе истраживања одабрано је неколико климатских показатеља који су се на основу прегледа литературе показали као најзначајнији у третирању постојеће проблематике. Пре свега они се односе на два најважнија климатска елемента – температуру ваздуха и количину падавина. Индикатор у вези температуре ваздуха који је анализиран је средња годишња температура, док су код падавина узети у обзир средња годишња количина падавина, број дана са падавинама, број дана са количином падавина већом од 10 mm, као и дневне максималне и екстремне вредности падавина. Приликом објашњавања најважнијих хидролошких узрока, због претходно поменутог јединства обе групе фактора, често су анализирани и климатске прилике (посебно када се ради о одређеним екстремним хидролошким догађајима за које се сматра да су имале највише утицаја на промену интензитета ерозије обала).

У сврху уочавања одређених климатолошких зависности у домену латералног померања речног тока, сагледане су карактеристике за слив Јужне Мораве. У складу са доступним подацима о интензитету ерозије обала, сагледан је тренд у промени поменутих показатеља током периода истраживања (1924-2020), али и појединачно по секвенцама – 1924-1938., 1939-1960., 1961-1969., 1970-1988., 1989-2000., 2001-2010. и 2011-2021. година. Подаци о вредностима температуре и падавина преузети су из публикација метеоролошких и хидролошко-падавинских годишњака у издању РХМЗС (1948-2021), као и допунско из статистичких годишњака Југославије (1924-1947). У зависности од доступних података различите метеоролошке, климатске и падавинске станице разматране су у одређеним временским секвенцама.

8.1.1. Температура ваздуха

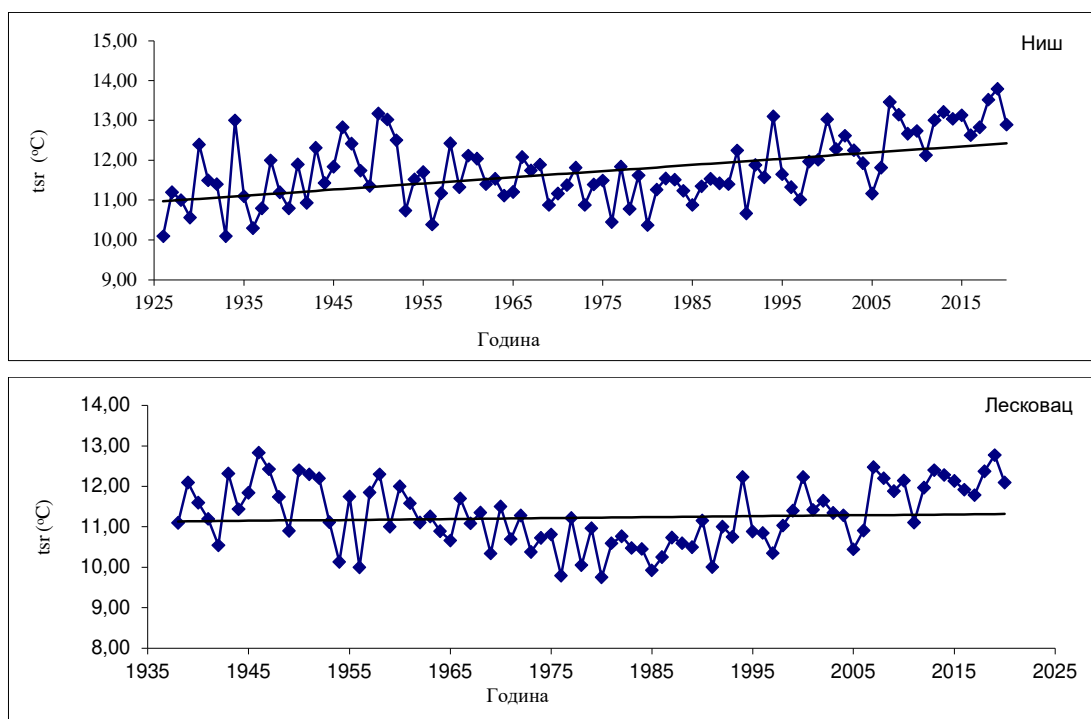
Варијације у температури ваздуха представљају секундарни климатолошки елемент који има значаја на процес ерозије обала. Основна улога температуре манифестује се кроз индиректни утицај на варијације у времену отапања снежног покривача, што ће се након хидролошке анализе утврдити као један од важних елемената раста водостаја и протицаја река, њиховог изливања и формирања ледених брана. Са друге стране, утицај температуре важан је и за директне процесе замрзавања и крављења земљишта деградираних обала. У истраживању аутора (Augustowski & Kukulak, 2021) утврђена је законитост да се ердобилност обале повећава у условима дневног циклуса замрзавања-крављења, односно када се два или више пута у току дана дешавају поменути процеси. Све то има значајног утицаја на смањену кохезивност обале и њену отпорност, те се при условима веће количине воде оне брзо и лако деградирају.

Као базни показатељ сагледана је средњегодишња температура ваздуха чије су вредности добијене са метеоролошких станица Врање, Ниш и Пирот за целокупан период истраживања (1924-2020), Лесковац, Куршумлија, Димитровград и Кукавица за период 1938-2020. година и станице Бабушница за период 1960-2020. година. Недостатак пуних низова податка за остале метеоролошке станице у сливу Јужне Мораве онемогућили су њихово коришћење у овом делу анализе. Од поменутих станица посебан значај дају подаци о температури добијени са станица Ниш и Лесковац које су лоциране неколико километара узводније од истраживачких сектора I-III (Ниш) и сектора IV (Лесковац), будући да су климатске прилике регистроване на поменутих станицама најприближније реалном стању на територији просторног обухвата истраживања.

Спроведена анализа тренда средњегодишњих вредности температуре ваздуха показује посебно значајне резултате промене на свим истраживаним станицама. Повећање вредности тренда на одређеним МС је толико изразито да се може сврстати у категорију веома растући тренд вредности. Од седам истраживаних станица на шест (86%) је изражен растући тренд вредности температуре увек са статистичком значајношћу. Са веома високом значајношћу промене средњегодишње температуре одликују се станице Куршумлија ($Z = 3,67$), Ниш ($Z = 4,63$) и Бабушница ($Z = 5,64$), на нивоу значајности од 0,001 (0,1%). Високом сигнификантношћу пораста вредности показатеља карактеришу се станице Димитровград ($Z = 2,62$), Пирот ($Z = 2,87$) и Врање ($Z = 3,1$), док се ниском статистичком значајношћу карактерише температура регистрована на станици Лесковац ($Z = 1,91$). Негативан или опадајући тренд вредности температуре ваздуха регистрован је на јединој планинској МС Кукавици у проучаваном периоду од 67 година са вредношћу тренда од -0,29 (без статистичке значајности).

Анализирајући просечан годишњи пораст запажа се да он има највећу вредност на станици Бабушница (0,03 °C годишње), што би за проучавани период од 62 године износило повећање температуре ваздуха од 1,86 °C. На репрезентативној станици Ниш просечно годишње повећање износи 0,016 °C или 1,52 °C за период од 1924-2020. године. Добијени подаци

представљају веома важан резултат и у складу су са истраживањима (Миловановић, 2017) сличног типа на примерима других метеоролошких станица у Србији. Миловановић (2017) је, анализирајући трендове вредности температуре ваздуха и количине падавина у Србији у периоду 1949-2008. године, закључио да је на чак 22 (од укупно 23) метеоролошке станице дошло до пораста средњих годишњих температура ваздуха, док је на 14 станица (61%) регистрован сигнификантни растући тренд. Интересантни закључци се могу добити поређењем резултата поменуте студије и овог истраживања. На две МС дуж тока Јужне Мораве (Лесковац и Ниш) регистровани су благи или умерено несигнификантни порасте температуре у посматраном периоду од 60 година. Међутим, када се у обзир узму периоди прве половине 20. века и последњих 10 година, тренд доживљава трансформацију у умерено и високо значајно опадајући. На Сл. 83 приказани су примери два типа тренда средњегодишње температуре ваздуха: веома растући тренд регистрован на станици Ниш и споро растући забележен на станици Лесковац.



Сл. 83. Тренд средњегодишњих вредности температуре ваздуха на станицама Ниш и Лесковац

Због наглашене специфичности периода отапања снежног покривача у сливу Јужне Мораве сагледани су и трендови средњемесечних температура зимских месеци. Добијени подаци за станицу Ниш били су од посебног значаја, јер су сва три месеца зимског периода године регистровани сигнификантан пораст, међу којима највиши пораст бележи фебруар у вредности тренда од 2,67 или 0,028 °С годишње повећања у просеку. Након фебруара следи јануар са годишњим повећањем од 0,028 °С (вредност тренда од 2,57), а на последњем месту јануар са 0,012 °С годишње вишом температуром ваздуха. Према томе, јануарске и фебруарске температуре карактерише високо сигнификантни тренд позитивне промене вредности показатеља. Добијени подаци посебно су интересантни у контексту ранијег отапања снежног покривача и појаве великих вода.

Још значајнији подаци добијају се приликом анализе промена температуре на вишим станицама у сливу. У ту сврху коришћени су подаци добијени на станици Кукавица, такође за три зимска месеца. Иако се тренд средњегодишњих температура ваздуха на станици Кукавица карактерисао негативном компонентом, тренд вредности зимских месеци има обрнуте тенденције. Наиме, током јануара и фебруара регистровани су благо растући

трендови месечних температура са вредностима 0,75 за јануар и 0,36 за фебруар или повећање вредности параметра у распону од 0,006 до 0,011 °C сваке године (1954-2020).

Представљени резултати јако су значајни са аспекта уназадног померања периода отапања снежног покривача и појаве великих вода. Детаљније о овој законитости знаће се након анализе хидролошких параметара, али на основу добијених вредности може с претпоставити готово сигуран утицај на ранији почетак пролећа. Оваква законитост има великог утицаја на смањење/повећање вредности сезонских протицаја. Касно зимски и рано пролећни сезонски протицаји имају тенденцију смањења вредности, као резултат ранијег отапања снега и леда (Blöschl et al., 2017; Blöschl et al., 2019), док се управо због тога средње зимски протицаји повећавају. Harpold (2016) су на примеру неколико речних токова у Европи указали на поменуто законитост приписујући узроке пораста температуре појави климатских промена. До сличних резултата стигао је и Grant & Safeeq (2016) проучавајући климатско-хидролошку варијабилност река на Каскадним планинама током 20. века.

Према свему наведеном климатске промене и глобално загревање са једне стране и цикличне метеоролошке варијабилности температуре са друге стране имају значајног ефекта на протицај река. У студији о ефектима глобалног загревања над годишњим и сезонским протицајима великих речних система Европе (Волга, Дњепер и Дон), користећи расположиве податке, Shiklomanov (1999) је открио значајне промене у сезонском (у поређењу са годишњим) протицају, тј. изненада повећавајући се у зимском периоду године и смањујући се у пролеће, због интензивнијег топљења снега зими. Касније су слични закључци изведени за регионе са упоредивим физичко-географским условима (Белгија, Канада, Пољска, Скандинавија, Шкотска, итд.) (Harpold, 2016).

Према подацима Агенције за заштиту животне средине Србије (2015), средње годишње температуре расту у Србији, посебно у последњих 15 година. За Србију која се налази у залеђу Медитерана IPCC прогнозира повећање средњих годишњих температура и у наредном периоду (IPCC, 2018). Закључено је да ће пројекције климатских промена имати негативне ефекте на запремину годишњег водног биланса, јер су ранија истраживања показала да се са територије Републике Србије просечно изгуби путем евапотранспирације око 75% падавина, што је под директним утицајем претходно регистрованог пораста температуре ваздуха. За слив Јужне Мораве прогнозира се вредност отицања у односу на бруто падавине у износу од 29%. Dikmić (2018) су проучавали корелацију између пораста температуре и понашања протицаја и утврдили висок степен детерминације, односно да повећање температуре од 1 °C има обрнуто пропорционални ефекат на средњегодишње вредности протицаја у просеку за 13%. Посебно су нагласили високе корелације у источном и југоисточном делу Србије.

За конкретан утицај температуре ваздуха на процес отапања снежног покривача, а самим тим крајњег утицаја на процес ерозије обала потребно је сагледати податке о трајању снежног покривача и време појаве последњег снега. Међутим, дужина низа метеоролошких података није на задовољавајућем нивоу што онемогућава детаљнију анализу утицаја поменутог климатског елемента.

8.1.2. Количина падавина

Други одабрани метеоролошки показатељ чији ће се однос према интензитету ерозије обала утврдити је количина падавина. Из тог разлога коришћени су подаци са више метеоролошких и падавинских станица у сливу за исте периоде као и за температуру. Међутим, у овом случају број станица је знатно виши (30) (Сл. 9). На 13 станица постоји низ података који омогућава да у сваком временском пресеку постоје доступни подаци о количини падавина, што је објашњено у оквиру поглавља „Физичко-географске карактеристике слива Јужне Мораве“.

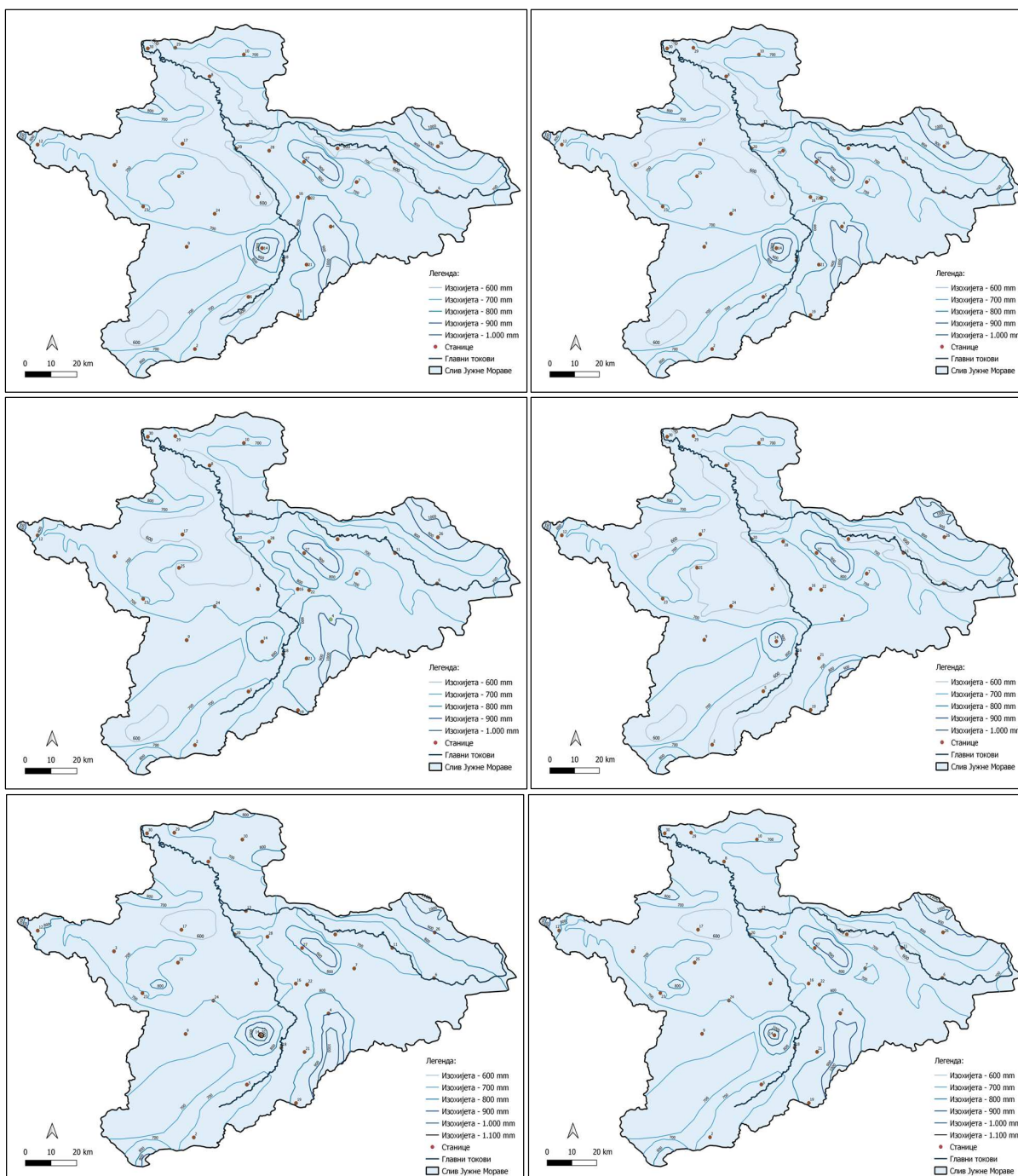
У првој етапи, слично као и код температуре, сагледан је годишњи тренд промене *количине падавина* на свим истраживаним станицама. У претходно дефинисаним временским

периодима количином падавина нижом од 600 m годишње одликују се предели дуж тока Јужне Мораве, као и места лоцирана у великим котлинским проширењима (Белопаланачка, Пиротска, Алексиначка, Нишка, Лесковачка, долина Топлице). У периоду 1924-2020. године најнижа годишња количина падавина регистрована је на станици Прокупље (549 mm), Пирот (588 mm), Алексинац (591 mm), Лесковац (595 mm) и Бела Паланка (599 mm). Резултати тренда средњегодишње количине падавина показала су пораст углавном несигнификантне природе. Станице у категорији од 600 до 700 mm падавина представљају највећу групу, нпр. Врање (611 mm), Ниш (613 mm), Сокобања (639 mm), Димитровград (647 mm), итд. Количином падавина између 700 и 800 mm одликују се станице у вишим деловима слива (Блажево – 783 mm, Сијаринска бања – 749 mm) и узводније уз ток Јужне Мораве (Власотинце – 713 mm, Сурдулица – 733 mm). Од станица које садрже низове дуже од 60 година само се две налазе у категорији изнад 800 mm падавина, а то су Власина са 843 mm и Кукавица са 974 mm.

У складу са методолошким концептом у наставку је извршена компарација варијација у падавинским показатељима у односу према показатељима ерозије обала. Укупни низови података издељени су на периоде дефинисане временским интервалима коришћеним приликом квантификације процеса латералног померања и ерозије обала. За сваки период израчуната је укупна количина падавина, а на основу добијених резултата израђене су *изохијетне карте* представљене на Сл. 84. Приликом графичког представљања изостављен је период 1939-1960. године због непотпуних низова за одређен број станица. Упоредивањем добијених вредности могу се донети одређени закључци у вези са падавинским режимима током одређених интервала.

Прва уочена законитост односи се на чињеницу да не постоји установљени градацијски патерн промене вредности количине падавина код станица, већ да су постојеће варијације индивидуалне и различите. Период када је на већини станица достигнут *минимум у годишњој количини падавина је 1989-2000.* година о чему сведочи и Сл. 84 (средина десно). Тада је готово половина станица регистровала количину падавина нижу од 600 mm. Изохијета од 600 mm тада је обухватала највеће сегменте доњег и средњег дела слива Јужне Мораве, као и готово читав ток реке Нишаве (изузимајући изворишни део). Станице на којима је достигнут минимум у количини падавина су Пирот (503 mm) и Прокупље (524 mm). Снижену водност осетили су и планински предели, што је доказано подацима са станице Кукавица (905 mm) или Блажево (723 mm). Претходни подаци нису изненађујући јер је и ранијим студијама (Martić Bursać et al., 2016) период 1990-их година издвојен као посебно сушан. Међутим, интересантан је податак да ипак на већини станица минимална средњегодишња количина падавина није регистрована у поменутом периоду.

Да се циклуси повећане водности и сушности смењују редом говори податак о најводнијем периоду за већину истраживаних локалитета (2001-2010). *Тада је на 93,7% станица достигнута највиша количина падавина* у односу на све остале периоде. Од 16 станица за које постоје подаци о количини падавина у датом интервалу посебно се издвајају Кукавица на којој је по први пут регистрована вредност изнад 1.100 mm, али и станице Лесковац (696 mm) и Ниш (656 mm) са знатно вишим вредностима у односу на просек за читав период осматрања. Међутим, слично као и са минималном вредношћу, максимална годишња количина падавина није достигнута у анализираном периоду. Посматрајући остале временске интервале уочене су промене углавном у рубним делове доњег и средњег дела тока Јужне Мораве (нпр. Куршумлија, Лесковац, Бела Паланка) које су током седам временских пресека често прелазиле из групе најсушнијих предела у наредну категорију и обратно. Веће флукуације су везане и за највише станице у сливу – Кукавица (од 905 до 1.102 mm) и станица Дојкинци (за период до 1988. године, с обзиром да за савремени период не постоје адекватни подаци).



Сл. 84. Компаративни приказ изохијетних карата за периоде: 1924-1938. (горе лево); 1961-1969. (горе десно); 1970-1988. (средина лево); 1989-2000. (средина десно); 2001-2010. (доле лево); 2011-2020. (доле десно)

У целокупном временском периоду две године се могу издвојити као најводније, односно оне када су регистровани максималне вредности количине падавина: 1937. и 2014. година. Година 1937. на читавој територији Србије идентификована је као најкишовитија, што се огледа и кроз податак да је на чак 11 станица (68,7%), за које постоје осматрања количине падавина током периода 1924-2020. године, регистрована максимална вредност. Од поменутих, годишњи рекорд регистрован је 1937. године на станицама Власина (1.616 mm) и Крушевица (1.609 mm). Интензивне падавине регистроване су 2014. године током пролећних и зимских месеци што је утицало на то да се исти максимум јави на пет станица од којих се са највећом вредношћу

одликује Кукавица (1.415 mm). На станици Димитровград најкишовитија је била 2007. година са 1.165 mm падавина.

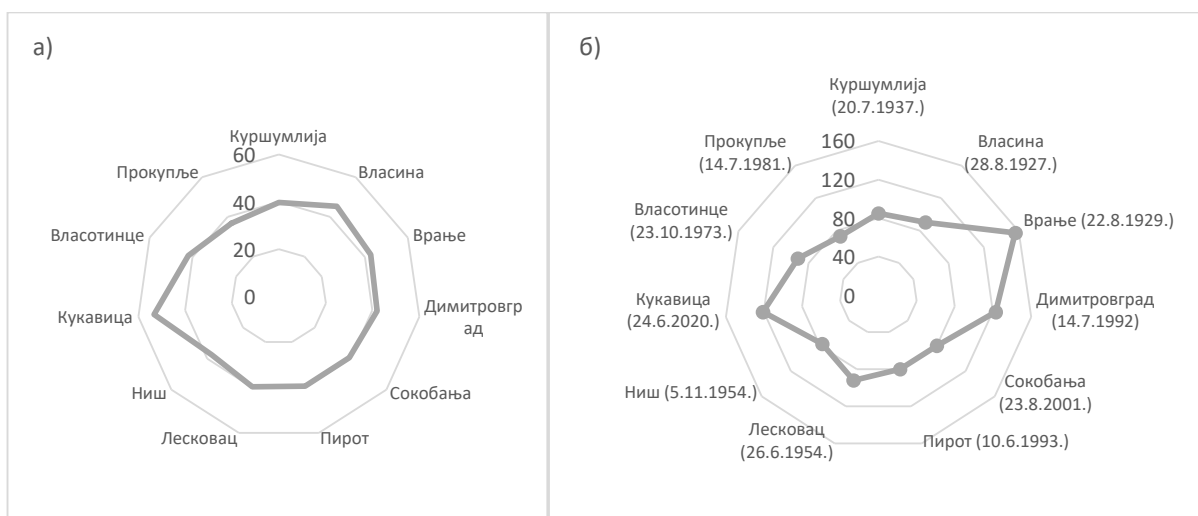
У домену истраживања утицаја варијација количине падавина на интензитет процеса ерозије обала најкишовитија година не мора нужно значити и највиша вредност протицаја и уједно највећи интензитет ерозије обала. Стога, потребно је за репрезентативне станице сагледати и динамику месечних и дневних вредности у циљу правилног закључивања о конкретној условљености поменути два параметра.

У наставку ће бити сагледане варијације вредности три додатна показатеља важна са становишта утицаја на процес ерозије обала: максималне дневне вредности количине падавина, број дана са падавинама и број дана са падавинама већим од 10 mm. *Максималне дневне количине падавина* истражене су у циљу указивања на евентуални значај истих на нагли пораст протицајних вредности што може имати директног утицаја на повећан интензитет ерозије обала. За 11 станица за које постоје најдужи ниво осматрања на Сл. 85а приказана је просечна вредност максималне дневне количине падавина за читав истраживани период. Највише просечне вредности регистроване су на станици Кукавица (53,3 mm/дневно) и Власина (45,2 mm/дневно). Висина падавина регистрована на осталим станицама прати очекиване вредности посматрајући средњегодишње максимуме.

На Сл. 85б представљене су вредности апсолутне максималне дневне количине падавина. Може се увидети да оне готово у потпуности одступају од неког очекиваног тренда. Највећа дневна количина падавина регистрована је на станици Врање – 156 mm/дневно, 22. августа 1929. године. У истом периоду на још две станице идентификоване су вредности више од 100 mm и то на Кукавици (121 mm/дневно) и Димитровграду (123 mm/дневно). Такође, посматрајући месеце када је достигнут максимум можемо закључити да се на 75% станица исти јавља у летњем периоду године (јул и август). *Према томе, реч је о карактеристичним летњим интензивним и кратким падавина, када често једног дана буде достигнута вредност количине падавина за читав месец. Чињеница да је станица Врање, на којој претходним истраживањима нису регистроване високе вредности количине падавина, сада она која се одликује највећим дневним максимумом иде у прилог неуједначеног плувиометријског режима – наиме 1929. година је једна од сушних када је укупна количина падавина на станици Врање износила мање од 600 mm. У току једног дана излучено је око 27,3% падавина од укупне количине за годину дана.*

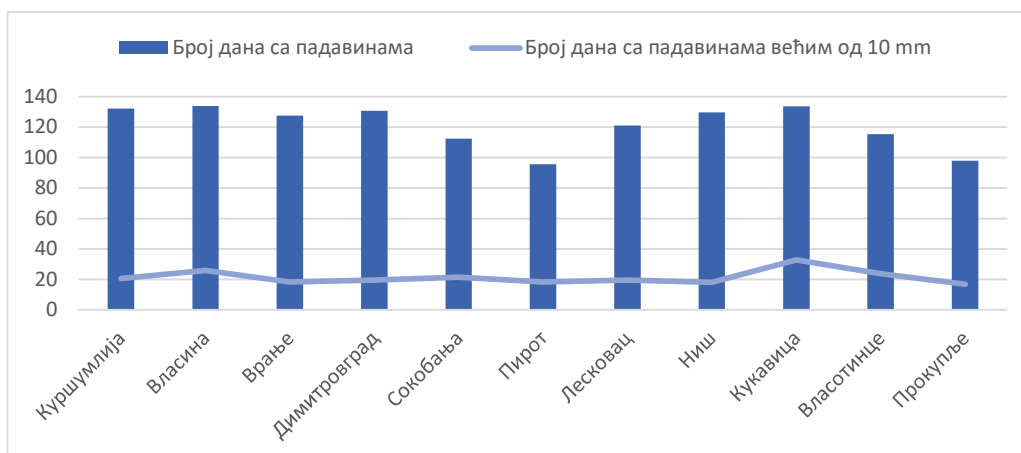
Поставља се питање колико поменути падавински екстремци могу имати утицаја на интензивирање процеса ерозије обала? Очигледно је да је већина екстрема индивидуална или једнодневна, као и то да је дуго времена пре њих ниво воде у речном кориту најближих токова био на ниским вредностима – то упућује на претпоставку њиховог незнатног утицаја на интензивирање процеса ерозије обала. Овакви падавински екстремци у месецима са традиционално најмањим вредностима протицаја значајнији су за формирање бијица и њихово деградирајуће дејство.

Број дана са постојањем атмосферских падавина, а посебно број дана са падавинама вишим од 10 mm, представља значајан параметар. Забележени подаци указују да је број дана са падавинама на свим станицама око трећине у односу на целу годину. Највише вредности регистроване су на станици Власина (133,7 дана) и Кукавица (133,2 дана), док су најмање регистроване на станицама Пирот (95,6 дана или 26% од укупног броја дана у години) и Прокупље (98,3 дана). Највећа забележена вредност броја кишних дана износи 176 и идентификована је на станици Власина 1973. године. Важнији показатељ представља број дана са интензивнијим падавинама (преко 10 mm) (Сл. 86). Добијени резултати указују да је у периоду од 97 година свега на четири станице тражена количина падавина бележена више од 20 дана у току године и то: Кукавица (32,2 дана), Власина (26 дана), Власотинце (23,6 дана) и Сокобања (21,3 дана).



Сл. 85. Просечне максималне дневне вредности количине падавина (а) и вредности апсолутних максимума (б) током истраживаног периода

Проучавајући индивидуалне годишње екстреме овог показатеља могу се добити значајнији резултати. Узимајући као пример станицу Власина констатује се да се највећи број дана са падавинама већим од 10 mm јавио 2014. године (41), да би две године након тога 2016. године регистрован секундарни максимум од 40 дана. Године 2014. чак 10 дана у септембру имало је тражену вредност, посматрајући према месечним вредностима. Добијени подаци могу бити веома значајни приликом вршења корелације са интензитетом ерозије обала.



Сл. 86. Однос броја дана са регистрованим падавинама и броја дана са падавинама већим од 10 mm у периоду 1924-2020. године

У последњој фази сегмента о падавинама извршена је корелациона анализа претходно добијених вредности интензитета ерозије обала и пет референтних падавинских показатеља појединачно по дефинисаним временским интервалима. Циљ анализе је да се увиди колико варијације падавинских параметара утичу на интензитет проучаваног процеса. Као референтне станице узете су Ниш и Лесковац као географски најближе секторима, али и Власина и Димитровград које се налазе у вишим деловима слива. У Таб. 42 представљен је део корелационих веза исказаних кроз вредност коефицијента корелације између варијабли ерозије обала и поменутих варијабли из домена падавина. Анализом остварених резултата тумачи се да одабрани климатски параметри немају значајнијег **директног** утицаја на интензитет процеса ерозије обала. Наравно, потребно је разграничити њихов директан утицај, од **индиректног** кроз утицај на детерминанте других значајних фактора. Висока вредност корелације регистрована је на примеру истраживачког сектора I између параметара просечног

интензитета ерозије обала са једне и годишње количине падавина и броја дана са падавинама вишим од 10 mm са друге стране (75% промене једне варијабле прате промене друге). Исти параметар ерозије обала у умереној је корелацији са бројем дана са падавинама, док је стање без корелације успостављено са параметром просечна максимална дневна количина падавина.

На остала три истраживана профила углавном је регистровано стање без корелације, са ниским степеном, или пак са елементом негативне корелације. У свим преосталим случајевима параметри који су посебно добро корелисани на сектору I (R_{uk} и $R > 10$ mm) сада су у слабој негативној релацији. Са друге стране, забележена су стања високе и умерене корелације између параметра ерозије обала и просечне максималне дневне количине падавина: сектор III (0,71 – висока корелација), сектор II и IV (0,6, 0,41 – умерена корелација). Параметар дани са падавинама углавном је у позитивној ниској или умереној корелацији са интензитетом ерозије обала.

Блажи резултати добијени су анализом падавинских параметара са станица Димитровград и Власина, односно постојана је нешто виша зависност максималне количине падавина и ерозије обала, као и броја дана са падавинама вишим од 10 mm (умерена корелација). Анализиран је и податак R_{av} који представља просечну количину падавина у сливу који је у свим примерима умерено корелисан са интензитетом ерозије обала, осим на сектору 4 где је регистрована ниска корелација.

Таб. 42. Вредности коефицијента корелације одабраних падавинских параметара и интензитета ерозије обала

| МС Ниш – С1 | | |
|------------------|---------|----------|
| | ЕО (ha) | ПЕО (ha) |
| R (mm) | 0,44 | 0,76 |
| R max (mm) | -0,38 | 0,01 |
| R > 0,1 mm | 0,32 | 0,52 |
| R > 10 mm | 0,47 | 0,75 |
| R_{av} (mm) | 0,55 | 0,68 |
| МС Ниш – С2 | | |
| | ЕО (ha) | ПЕО (ha) |
| R (mm) | -0,13 | -0,11 |
| R max (mm) | 0,45 | 0,6 |
| R > 0,1 mm | 0,33 | 0,35 |
| R > 10 mm | -0,28 | -0,26 |
| R_{av} (mm) | 0,45 | 0,51 |
| МС Ниш – С3 | | |
| | ЕО (ha) | ПЕО (ha) |
| R (mm) | -0,4 | -0,41 |
| R max (mm) | 0,44 | 0,71 |
| R > 0,1 mm | 0,1 | 0,21 |
| R > 10 mm | -0,4 | -0,41 |
| R_{av} (mm) | 0,52 | 0,69 |
| МС Лесковац – С4 | | |
| | ЕО (ha) | ПЕО (ha) |
| R (mm) | -0,29 | -0,01 |
| R max (mm) | 0,68 | 0,41 |
| R > 0,1 mm | -0,17 | 0,25 |
| R > 10 mm | -0,19 | -0,03 |
| R_{av} (mm) | 0,25 | 0,55 |

Какав се може донети закључак на основу анализираног односа процеса ерозије обале и параметара падавина? Првенствено, падавински параметри јесу важан фактор и неопходан активатор процеса ерозије обала, јер утичу на варијације хидролошких фактора. Друго,

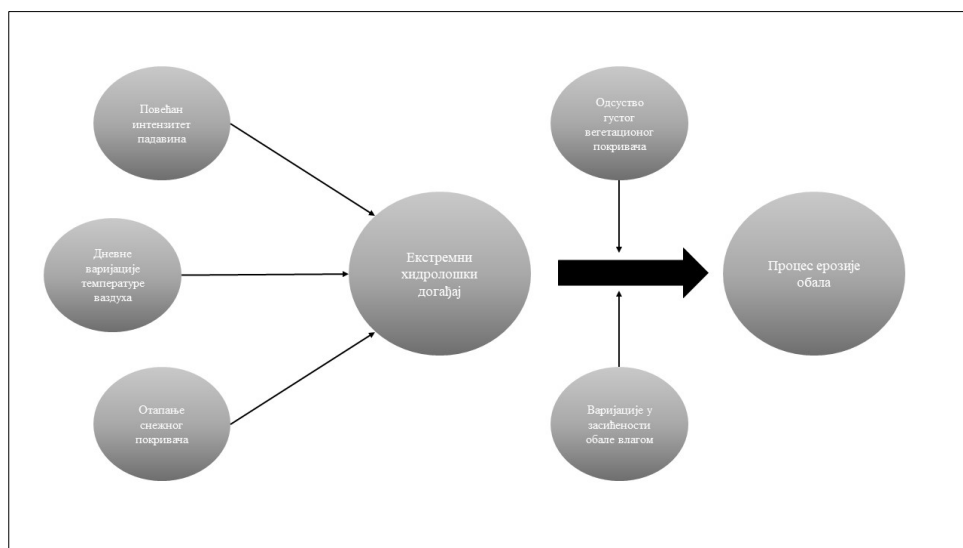
потребно је урадити детаљну анализу хидролошких фактора и показатеља како би се установиле њихове вредности у истим периодима и веза са климатским параметрима. Уколико се покаже очекивана зависност вредности хидролошких индикатора према интензитету ерозије обала, то може довести до закључка да поред количине падавина и други климатски елементи (температура ваздуха) имају висок значај на највише и екстремне вредности протицаја, а уједно и на екстремне вредности ерозије обала. Треће, може се констатовати да највећи утицај поменути параметри климе имају на најнижводнији истраживани сектор Јужне Мораве где се највише осећа типични плувијални режим тока. За уочавање веће зависности интензитета ерозије обала у односу на падавине потребно је сагледати више станица које се налазе у горњим деловима слива од којих почиње стварање поплавних таласа. Интересантно би било увидети тренд промене температуре и падавина у времену пре појаве утврђеног екстремног хидролошког дешавања, као и високог интензитета ерозије обала (урађено за рецентни период у поглављу „Варијације водности у рецентном периоду као узрок ерозије обала“).

8.2. Хидролошки узроци интензитета ерозије обала

Од свих географских узрока који утичу на интензитет померања речних токова и ерозију обала, хидролошки се могу окарактерисати као најсврхисходнији и доминантни. Колебање годишње, сезонске и месечне водности, интензитет и појава екстремних вредности хидролошких показатеља, фреквенција и јачина поплавних таласа и бујица представљају најзначајније модификаторе процеса ерозије обала. Пропорционално, динамика процеса ерозије обала може представљати основу за процену варијација у водности самог тока (Нооке, 2008). Према томе, разумевање просторно-временских варијација положаја речних токова и улога хидролошких фактора представљају нека од кључних питања флувијалне геоморфологије.

Од најранијих истраживачких радова препозната је важна улога хидролошких фактора на процес ерозије обала. Hughes и сар. (2006) је препознао да су главни догађаји у трансформацији обалских линија повезани са врховима поплава са повратним периодом од 1,2 до 1,5 године. Са друге стране, исти аутори наводе да смањена стопа латералног померања тока и деградација обала наступа током периода смањених вредности протицаја, односно током пикова који имају месечни период повратка. Касније су током примера различитих истраживања изнети ставови да високо интензивне падавине не морају нужно значити и изузетно повећање нивоа и брзине воде, односно повећање интензитета ерозије обале. У том погледу потребно је сагледати и генералне услове влажности, дејство снежног и леденог покривача, али и факторе попут вегетације и кохезивности материјала обалског појаса и његов отпор према воденом таласу.

Blanka & Kiss (2011) наводе оптималне услове за појачан интензитет процеса ерозије обала који укључују јаке и дуге падавине, топљење снежног и леденог покривача и повећање еродибилне моћи седимената обале уз смањен ефекат вегетације. Уз делимично модификовање претходно објашњеног става, пре анализе основних узрока процеса ерозије обала, на Сл. 87 формирана је хипотетичка или претпостављена најоптималнија ситуација за повећање интензитета процеса ерозије обала узимајући у обзир најрелевантније факторе за које се сматра да доприносе томе. У таквим околностима централно место заузима фактор водности.



Сл. 87. Хипотетички повољно стање за повећање интензитета ерозије обала укључујући локалне услове територијалног оквирног истраживања
(Извор: Елаборација аутора)

У време изразите водности и појаве кишних поводња речни ток транспортује, поред велике количине воде и значајан проценат суспендованог и вученог наноса, који могу утицати на промену интензитета процеса ерозије обала и акумулације еродираниог материјала. Драгићевић и Филиповић (2016) овакав вид екстремних природних непогода сврставају у групу хидрометеоролошких, односно оне које се карактеришу превасходно појавом интензивних киша и отапања снега. У складу са поменутиим, у бројним радовима предложен је интересантан концепт проучавања свих процеса у вези са бочном миграцијом речних токова познатији као хидрогеоморфолошки концепт. Он је сагледан као важна компонента предмета флувијалне геоморфологије, а заснован је на објашњавању дугорочне еволуције речних токова у оквиру одређених сливова, са посебним акцентом на групу хидролошких фактора (Fleurant, et al., 2013; Chassiot et al., 2020).

Значај концепта заснован је на постојању интердисциплинарне релације између водене масе са једне и морфологије речних корита, ерозије и акумулационих процеса и форми са друге стране. Овакви односи реализују се у обостраном правцу: вода утиче на обликовање и мењање позиције речних канала и других „пропратних“ флувијалних облика (што је посебно изражено током екстремних хидролошких догађаја), док истовремено речно корито, кроз своје морфометријске карактеристике и постојећи микро рељеф, утичу на динамику кретања воде, интензитет ерозије, транспорта наноса и њихов акумулациони капацитет (Fleurant et al., 2013).

С обзиром на чињеницу да су хидролошки фактори најбитнији узрочници ерозије обала, утврђене вредности интензитета ерозије и латералног померања Јужне Мораве су доведене у релацију са варијацијама основног хидролошког показатеља - протицаја. На овакав начин конципирана техника често је примењивана у географским истраживањима дефинисане проблематике (Актар, 2013; Langović, 2020). У складу са тим, овај сегмент конципиран је по принципу првобитне анализе хидролошких услова који карактеришу ток Јужне Мораве у референтном периоду, док је у другом делу валоризован њихов утицај на процес морфодинамике речног тока. С обзиром на значајност ове групе фактора извршена је детаљнија анализа средњегодишњих и сезонских вредности протицаја и њихових трендова, анализа месечних вредности, максималних дневних вредности и посебно наглашени екстремни хидролошки догађаји. На крају су сумирани резултати и закључци применом статистичке математичке зависности са претходно добијеним резултатима о ерозији обала.

8.2.1. Анализа средњегодишњих вредности протицаја Јужне Мораве

За потребе истраживања хидролошких узрока процеса ерозије обала и латералног померања речног тока Јужне Мораве, као основа извршена је анализа средњегодишњих вредности протицаја током читавог истраживаног периода (1924-2020). Према савременој мрежи станица површинских вода, на току Јужне Мораве регистровано је шест активних хидролошких станица: Врањски Прибој, Владичин Хан, Грделица, Корвинград, Алексинац и Мојсиње (РХМЗС). Међутим, њихов број, положај и дужина временских низова са адекватним подацима је током истраживаног периода знатно варирао. На основу доступних емпиријских података о вредностима протицаја извршена је селекција од три најрепрезентативније станице које су регистровале потребне вредности средњегодишњег протицаја и секундарних показатеља водности – Грделица, Корвинград и Мојсиње. Подаци са осталих станица наведених у Таб. 43 коришћени су спорадично, у зависности од локалног карактера и доступности података у једној од временских секвенци. Хидролошки профили Врањски Прибој, Ристовац, Владичин Хан и Грделица лоцирани су узводно од четири истраживана сектора, а подаци добијени са њих од посебног су значаја приликом утврђивања узрока процеса ерозије обала на истраживачком сектору IV. Станица Корвинград лоцирана је низводно од сектора IV, узводно од осталих референтних деоница тока Јужне Мораве, док су станице Мојсиње и Алексинац лоциране низводно од преостала три сектора (Сл. 10).

Систематско мерење вредности протицаја на току Јужне Мораве започето је у периоду након Другог светског рата. У периоду између два светска рата је на поменутих станицама вршено регистровање средњегодишњих, месечних и дневних вредности водостаја. Из објављених публикација Генералне дирекције вода под називом „Извештај о воденим талозима, водостајима и количинама воде“ у периоду од 1924. године преузете су вредности средњегодишњих, средњемесечних и максималних вредности водостаја. Поред података о водостају приложена су и индивидуална мерења дневних вредности протицаја током година на различитим профилима. На основу доступности података о водостају и поменутих мерења протицаја у истом периоду конструисана је крива протицаја. Њеним коришћењем омогућено је одређивање протицаја за сваки водостај (Дукић & Гавриловић, 2006). Ова техника искоришћена је и у овом истраживању у циљу добијања средњегодишњих и сезонских вредности протицаја на три репрезентативне станице у периоду 1924-1945. године.

Таб. 43. Основне информације о хидролошким станицама на току Јужне Мораве

| Станица | Надморска висина (m) | Површина слива (km ²) | Удаљеност од ушћа (km) | Период активности |
|---------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------|-------------------|
| Ристовац | - | 2.132 | 237 | 1922-1990. |
| Врањски Прибој | 349,98 | 2.775 | 202,8 | 1954-2020. |
| Владичин Хан | 321,98 | 3.052 | 187,5 | 1937-2020. |
| Грделица | 251,63 | 3.782 | 155 | 1922-2020. |
| Корвинград | 188,09 | 9.396 | 105,7 | 1922-2020. |
| Алексинац | 157,63 | 14.284 | 55,13 | 1926-2020. |
| Мојсиње | 136,28 | 15.390 | 16,4 | 1950-2020. |
| Сталаћ ⁸ | 131,47 | 15.460 | 4,6 | 1922-1979. |

(РХМЗС, 2021)

⁸ Најниводнија хидролошка станица Мојсиње основана је 1950. године. Међутим, за потребе регистровања временске серије података у дефинисаном оквиру извршено је груписање података о вредностима годишњих, месечних и максималних протицаја регистрованих на станици Мојсиње (1950-2020) са подацима регистрованим на хидролошкој станици Сталаћ (1924-1950). Оправданост груписања података заснива се на чињеници да у девет километара удаљености између локација две станице нема значајнијих дотока воде притокама, као и да су разлике у дотоку и протоку воде занемарљиве.

На основу доступних података, прва фаза анализе хидролошких карактеристика укључивала је уочавање одређених законитости појаве средњегодишњих и сезонских протицаја. Употребом Mann-Kendall теста уочени су одређени трендови у **промени средњегодишњих и сезонских вредности протицаја** на три истраживана профила (Грделица, Корвинград, Мојсиње) за 97-годишњи период. *Добијени резултати показали су нерегуларност у промени тренда на три ХС Јужне Мораве у трајању од готово једног века, што указује на постојање неуједначене водности које касније може имати значајан утицај и на интензивирање или слабљење интензитета процеса ерозије обала.* На два низводнија профила, Мојсиње и Корвинград, регистрован је опадајући тренд вредности протицаја и то на профилу Мојсиње благо опадајући без статистичке значајности ($Z = -0,99$), а на профилу Корвинград са истакнутом и већом сигнификантношћу ($Z = -2,69$) (Таб. 44). На ХС Корвинград праг сигнификантности износи 0,01 што указује на умерено до високу значајност, односно да просечна годишња стопа смањења вредности протицаја у датом периоду износи $0,23 \text{ m}^3/\text{s}/\text{god}$ (наспрам годишњег смањења на станици Мојсиње које износи $0,13 \text{ m}^3/\text{s}/\text{god}$). Претходне студије (Ковачевић-Мајкић & Урошев, 2014; Mustafić et al., 2014; Langović et al., 2017; Langović, 2019) указале су на доминантност опадајућих трендова вредности годишњих протицаја река у Србији последњих 60 година.

Насупрот претходним резултатима, подаци извршеног МК теста на ХС Грделица показали су карактеристику растућег тренда ($Z = 1,32$) статистички несигнификантног, али близу прага значајности. Реч је о станици која се налази на прелазу средњег и горњег дела тока Јужне Мораве. Просечно годишње повећање протицаја на станици Грделица у периоду 1924-2020. године износило је $0,04 \text{ m}^3/\text{s}/\text{god}$.

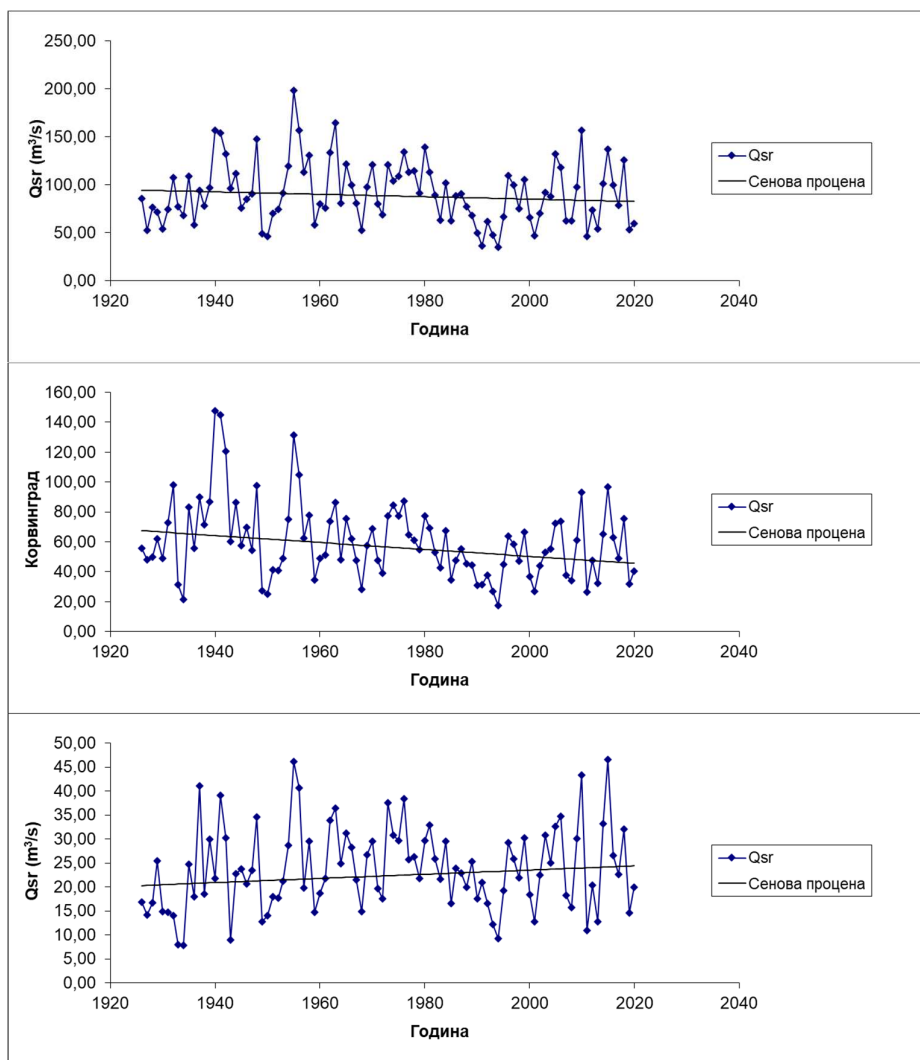
Таб. 44. Тренд средњегодишњих и сезонских вредности протицаја (1924-2020)

| Станица | Период | Qsr (m ³ /s) | Z – вредност тренда | В – сенова процена | α - ниво значајности |
|------------|---------|-------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Мојсиње | Пролеће | 160,26 | -0,27 | -0,05 | - |
| | Лето | 58,15 | -1,43 | -0,15 | - |
| | Јесен | 40,69 | -0,19 | -0,01 | - |
| | Зима | 106,61 | 0,53 | -0,08 | - |
| | Укупно | 91,45 | -0,99 | -0,13 | - |
| Корвинград | Пролеће | 106,05 | -1,74 | -0,37 | + |
| | Лето | 56,21 | -2,64 | -0,23 | ** |
| | Јесен | 25,82 | -0,24 | -0,01 | - |
| | Зима | 73,25 | 2,69 | -0,33 | ** |
| | Укупно | 60,17 | -2,69 | -0,23 | ** |
| Грделица | Пролеће | 40,27 | 1,41 | 0,09 | - |
| | Лето | 13,24 | 2,73 | 0,06 | ** |
| | Јесен | 11 | 2,38 | 0,04 | * |
| | Зима | 30,56 | 0,14 | 0,01 | - |
| | Укупно | 23,61 | 1,32 | 0,04 | - |

** - ниво значајности од 0,01 при 99% интервалу поверења (умерено-висока сигнификантност); * - ниво значајности од 0,05 при 95% интервалу поверења (умерена сигнификантност); - ниво значајности од 0,1 при интервалу поверења мањем од 90% (без појаве сигнификантности)

Због детаљнијег објашњења узрока поменуте промене водности потребно је сагледати и промене трендова **сезонских годишњих протицаја** (Таб. 44). Добијени резултати изнова указују на појаву разлика у зависности од истраживане станице. На ХС Мојсиње, у све четири сезоне регистроване су опадајуће вредности протицаја без статистичке значајности које се крећу у распону од $-0,15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{god}$ током лета до $0,01 \text{ m}^3/\text{s}/\text{god}$ током јесењег периода године. Langović (2019) је, анализирајући промене тренда вредности сезонских протицаја река у сливу Јужне Мораве у последњих 50 година, издвојио летњи период када су регистроване високо опадајуће вредности тренда. На ХС Корвинград забележене су значајније флукуације у вредности тренда сезонских протицаја. Статистички значајно опадање сезонских протицаја

регистровано је током лета ($Z = -2,64$, ниво значајности од 0,01) и пролећа ($Z = -1,74$, ниво значајности 0,1). Изразито опадање вредности тренда током летњег периода године одговорно је и за пад тренда годишњих вредности протицаја које су у претходно анализирани. У јесећим месецима регистрован је благо опадајући тренд без статистичке значајности ($-0,01 \text{ m}^3/\text{s}/\text{god}$). Међутим, током зимских месеци нотирани су растући трендови сезонских протицаја са умерено до високом статистичком значајношћу и вредношћу тренда од 2,69. *Управо, овај резултат указује на специфичност и неуједначеност плувиометријског режима и водности у сливу Јужне Мораве, односно да смањење водности током једног периода године може пратити повећање током наредног.* На ХС Грделица, током четири годишња доба, регистроване су позитивне вредности тренда – током лета и јесени са статистичком значајношћу ($Z = 2,73$; $Z = 2,38$, односно умерено-високом статистичком сигнификантношћу). У циљу визуелног представљања регистрованих промена, на графичким прилозима на Сл. 88 приказани су примери благо опадајућег (Мојсиње), умерено опадајућег (Корвинград) и благо растућег (Грделица) тренда средњегодишњих протицаја.



Сл. 88. Тренд средњегодишњих протицаја на ХС Мојсиње (слика горе), ХС Корвинград (слика у средини) и ХС Грделица (слика доле)

За потребе свеобухватнијег сагледавања промена водности на току Јужне Мораве, као и каснијег корелисања са вредностима интензитета латералне миграције и ерозије обала, посебно су анализирани трендови у промени годишњих и сезонских вредности протицаја у два временска периода 1924-1969. и 1970-2020. године. *Година 1969. издвојена је као гранична из*

два разлога: због постојања адекватног временског пресека интензитета ерозије обала у поменутој временској одредници на сва четири истраживана сектора (а); због резултата ранијих истраживања која истичу чињеницу да се у периоду након 60-их година прошлог века запажа опадање водности у сливу Јужне Мораве (б). На основу резултата приказаних у Таб. 45 може се закључити да је први период на нивоу годишњих и сезонских вредности био воднији, док је у другом периоду наступило смањење водности. У првих 46 година на чак два профила регистрован је растући тренд вредности просечних годишњих протицаја, од којих је на ХС Грделица идентификован сигнификантни тренд (на прагу сигнификантности од 0,05). На ХС Корвинград је и у првом периоду забележен благо опадајући тренд, са просечним годишњим смањењем од 0,19 m³/s/god. Анализирајући сезонске вредности прве половине периода може се доћи до закључка да су на ХС Корвинград у свим сезонама регистровани негативни трендови промене вредности показатеља у распону од -0,32 током јесени до -0,43 током пролећа. Супротно томе на ХС Грделица бележене су позитивне вредности тренда од којих је посебно важно нагласити умерено значајно растући тренд забележен током лета (повећање у просеку од 0,15 m³/s/god) и јесени (повећање у просеку од 0,08 m³/s/god). На ХС Мојсиње идентификован је растући тренд вредности показатеља током лета (Z= 0,05), зиме (Z= 1,22) и пролећа (Z= 1,26). Једини изузетак представља јесењи период када је забележен блажи опадајући тренд вредности протицаја, у просеку -0,18 m³/s/god.

Таб. 45. Тренд средњегодишњих и сезонских протицаја за периоде 1924-1969. и 1970-2020. године

| Станица | Период | 1924-1969 | | | | 1970-2020 | | | |
|------------|---------|-------------------------|-------|-------|----------|-------------------------|-------|-------|----------|
| | | Qsr (m ³ /s) | Z | B | α | Qsr (m ³ /s) | Z | B | α |
| Мојсиње | Пролеће | 165,4 | 1,26 | 1,34 | - | 155,8 | -0,69 | -0,49 | - |
| | Лето | 62,89 | 0,05 | 0,02 | - | 54,1 | -0,94 | -0,22 | - |
| | Јесен | 41,36 | -0,79 | -0,18 | - | 40,1 | -1,21 | -0,22 | - |
| | Зима | 114,93 | 1,22 | 0,72 | - | 99,4 | -0,95 | -0,31 | - |
| | Укупно | 95,99 | 1,63 | 0,57 | - | 87,4 | -1,64 | 0,42 | - |
| Корвинград | Пролеће | 117,3 | -0,43 | -0,36 | - | 96,4 | -0,54 | -0,17 | - |
| | Лето | 63,2 | -0,41 | -0,14 | - | 50,1 | -1,05 | -0,21 | - |
| | Јесен | 27,7 | -0,32 | -0,03 | - | 24,1 | -1,47 | -0,16 | - |
| | Зима | 85,71 | -0,41 | -0,26 | - | 62,3 | -1,54 | -0,37 | - |
| | Укупно | 67,33 | -0,56 | -0,19 | - | 53,7 | -1,41 | 0,29 | - |
| Грделица | Пролеће | 38,5 | 1,52 | 0,34 | - | 41,7 | 0,13 | 0,02 | - |
| | Лето | 11,7 | 2,31 | 0,15 | * | 14,6 | -0,24 | -0,01 | - |
| | Јесен | 9,52 | 1,96 | 0,08 | * | 12,3 | -1,49 | -0,07 | - |
| | Зима | 31,8 | 1,53 | 0,29 | - | 29,5 | -0,94 | -0,13 | - |
| | Укупно | 38,5 | 2,23 | 0,81 | * | 24,5 | -0,8 | -0,08 | - |

* - ниво значајности од 0,05 при 95% интервалу поверења (умерена сигнификантност); - ниво значајности већи од 0,1 при интервалу поверења мањим од 90% (без значајности)

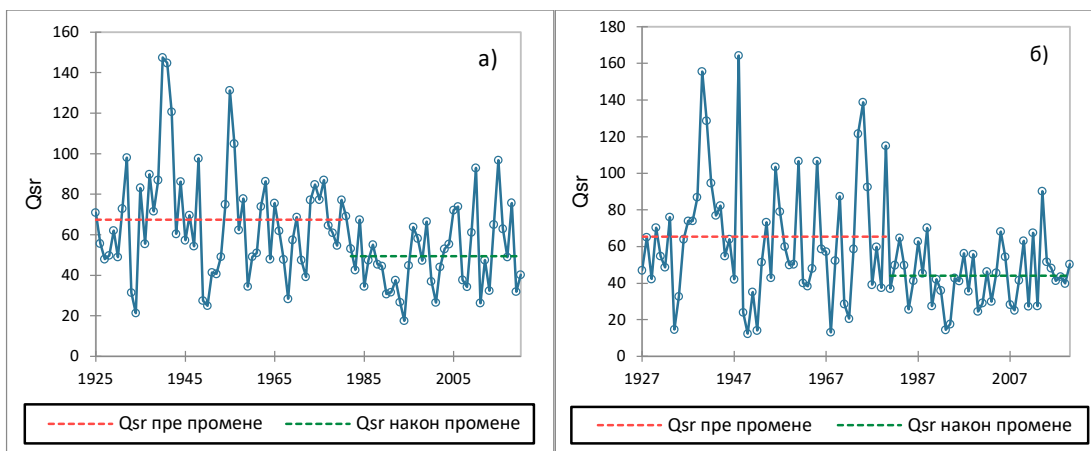
За разлику од првог периода, током другог периода можемо увидети значајне разлике по питању водности. Главна диспропорција се односи на постојање опадајућих трендова средњегодишњих протицаја на све три хидролошке станице, без статистичке значајности. Близу интервала поверења од 95%, односно на нивоу сигнификантности, налазе се вредности регистроване на ХС Мојсиње (Z= -1,64) и Корвинград (Z= -1,41), док је на ХС Грделица забележена знатно нижа вредност тренда (Z= -0,08). Упоредјујући други период са првим, запажамо и код сезонских вредности протицаја значајне разлике. Основна карактеристика сва три профила и свих сезона је постојање блажег или умереног опадајућег тренда без статистичке значајности. Највише негативне вредности тренда регистроване су на профили Корвинград током зимског (-0,37 m³/god) и јесењег (-0,16 m³/s/god) периода године. На ХС Мојсиње најизразитије промене регистроване су током јесени (Z= -1,21) и лета (Z= -0,94). Потребно је истаћи и опадајући тренд вредности јесењих протицаја на ХС Грделица, са вредношћу тренда од -1,49. На том примеру је само током пролећних месеци идентификовано повећање вредности од 0,13, односно у просеку 0,02 m³/s/god. Добијени резултати у складу су

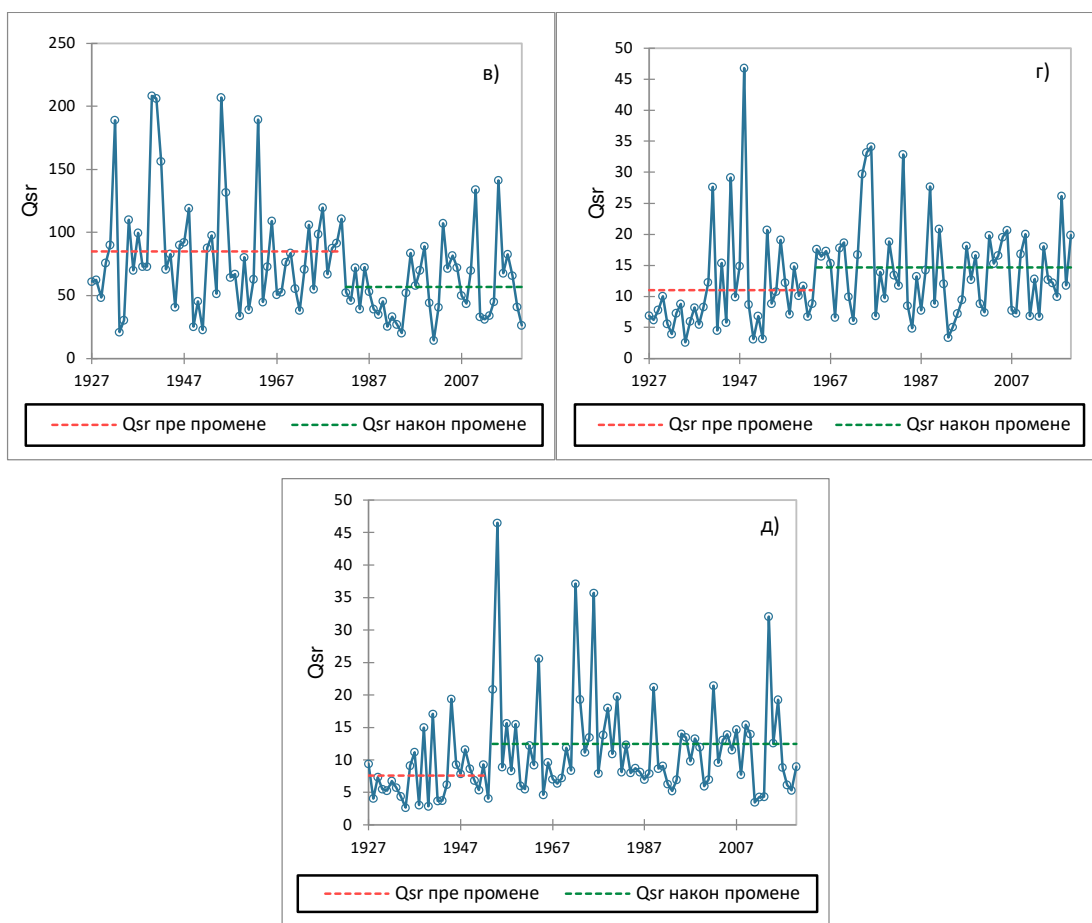
са опитим смањењем водности које је наступило у последњих 60 година у сливу Јужне Мораве.

Након утврђених трендова варијације средњегодишњих и сезонских протицаја, у циљу детерминисање године када је (не)сигнификантна промена наступила коришћен је статистички *Pettite тест хомогености временских серија*. Тестом су утврђене тачке промена вредности средњегодишњих протицаја у посматраном периоду од 97 година, на само једном профилу са статистичком значајношћу. На ХС Корвинград као тачка промене издвојена је 1981. година када је дошло до негативне промене (пада у тренду). С обзиром да је ниво сигнификантности мањи од 0,01 при интервалу поверења од 99% ($\alpha = 0,003$), прихвата се да серија података није хомогена. Након 1981. године уследило је смањење вредности протицаја за готово 27% (Сл. 89а). Као што је раније утврђено, на друга два профила није било сигнификантних промена, већ оних које немају статистичку значајност (Мојсиње - пад за 19,5%, Грделица - пораст за 20%). Регистровани пад на ХС Мојсиње започео је након 1982. године, док је пораст на ХС Грделица карактеристичан за период након друге половине прошлог века.

Анализирајући сезонске вредности протицаја могу се издвојити неколико примера значајних промена на ХС Грделица и Корвинград, док на ХС Мојсиње није било статистичке значајности. Све регистроване промене су се догодиле у периоду 1981-1988. године. На ХС Корвинград регистроване су значајне промене вредности протицаја, посебно у летњем (пад од 32,9% вредности након 1980. године, Сл. 89б) и зимском периоду године (пад од 33,2% 1981. године, Сл. 89в). Током остала два годишња доба регистроване су негативне вредности варијације протицаја са не толико великом значајношћу као претходне. Динамика сезонских вредности протицаја и прецизне тачке промена регистроване су и на ХС Грделица, са статистичком значајношћу - пораст током лета (Сл. 89г), за 34,5% након 1963. године и јесени (Сл. 89д) за чак 39,2% након 1953. године. У последњем случају праг значајности имао је најнижу вредност од 0,019. У осталим сезонама утврђене су тачке промене након којих је уследило смањење или пораст средњих вредности протицаја. Ниво сигнификантности има вредност већу од 0,05, што показује да промене нису биле статистички интересантне, а да су посматране временске серије готово хомогене.

На Сл. 89 представљене су јасне године или преломне тачке. На основу добијених резултата може се закључити да је на ХС Мојсиње и Корвинград преломни период промене била деценија 1981-1990. године, са најчешћом 1981. годином (40% примера) као референтном, односно оном након које су забележени падови у вредностима протицаја. На ХС Грделица преломни период позитивне промене вредности протицаја био је 1953-1954. године, осим за летње протицаје чија се измена вредности догодила деценију касније, односно 1963. године.

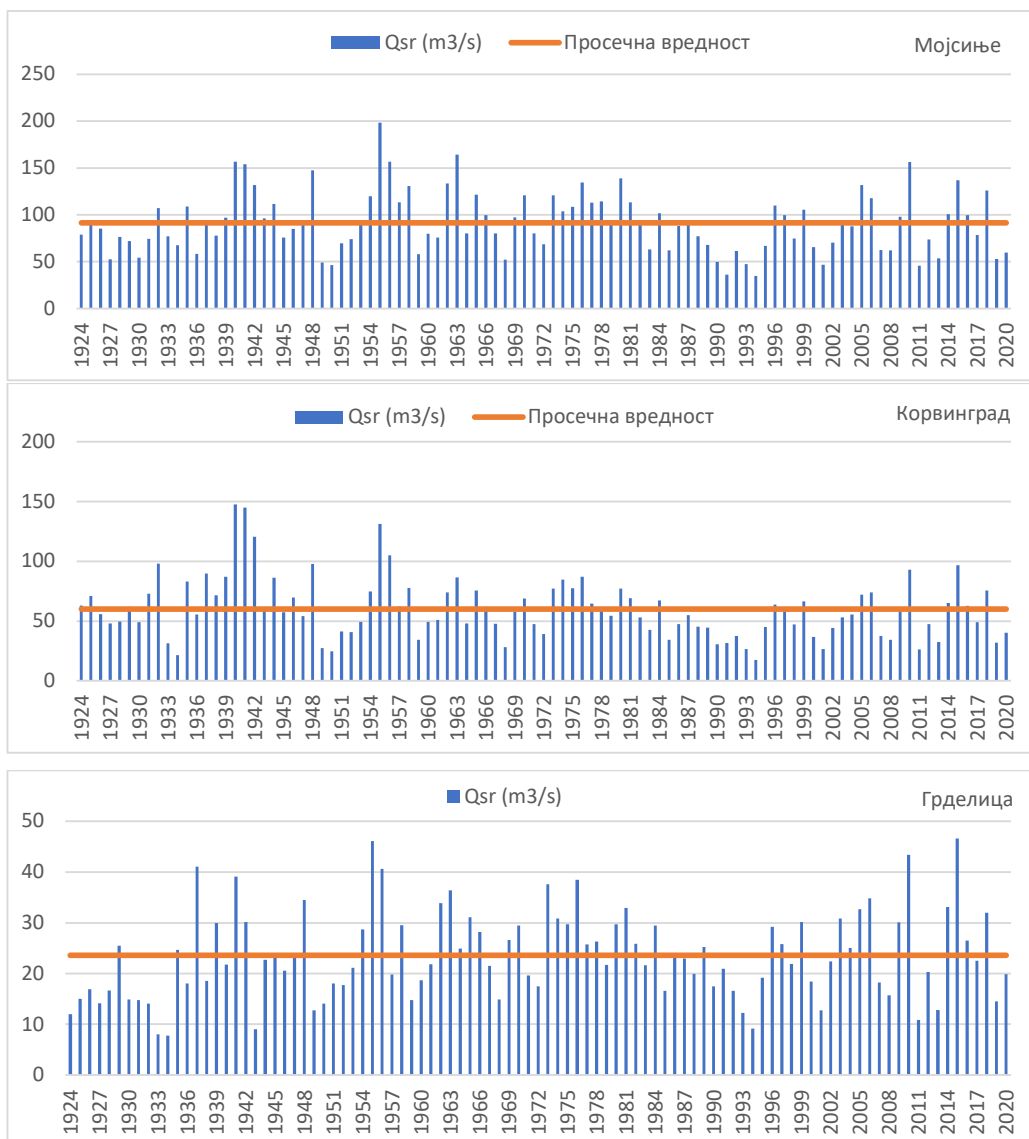




Сл. 89. Резултати Pettite теста на ХС Корвинград – средњегодишњи (а), летњи (б), зимски (в); и на ХС Гределица – летњи (г) и јесењи (д) протицај

Друга фаза спроведене анализе средњегодишњих вредности протицаја подразумева детаљније објашњење водности сваке од година у оквиру истраживаног временског циклуса. Основа овакве врсте анализе лежи у чињеници да се током периода јављају одређене разлике у вредностима протицаја на истом речном профилу. Варијације тог типа могу бити веома драстичне (изразито ниже или више вредности од просечне за читав период), а посебно у дужим временским серијама (Langović et al., 2017). У ту сврху, важна техника у физичко-географским и хидролошким истраживањима јесте **рангирање година по водности** са циљем указивања на ниску или високу водност одређеног тока у вишегодишњем режиму водности. Стога је у наставку сагледана динамика водности Јужне Мораве у референтном истраживачком периоду (1924-2020), а као улазне вредности коришћени су средњегодишњи протицаји. У литератури је познато више метода на основу којих се може утврдити поменуто рангирање, а за потребе овог истраживања коришћен је метод заснован на познатој вредности стандардне девијације. Он има широку студијску примену кроз многе светске и домаће студије из домена физичке географије (Симић, 2016; Langović et al., 2017). Заснива се на релацији средњегодишње вредности протицаја и стандардне девијације за посматрани низ: $Q_{sr} \pm \delta$ – средње водна година; $Q_{sr} \pm 2\delta$ – водна / сушна година; $Q_{sr} \pm 3\delta$ - веома водна / веома сушна година (Langović et al., 2017).

Са приложених хистограма (Сл. 90) могу се уочити да су се одређене године карактерисале већом водношћу, док су са друге стране неке идентификоване као испод просечне године. Због дужине тока од 229 km и различитих физичко-географских карактеристика долине Јужне Мораве постојане су различитости у водности, које се могу сагледати кроз број водних или сушних година.



Сл. 90. Хистограми средњегодишњих вредности протицаја (1924-2020)

На ХС Мојсиње (Сл. 90) као доминантно богата водом издвојена је 1955. година, када је Q_{sr} износио чак $198,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (54% већи од просечног за посматрани период – $91,4 \text{ m}^3/\text{s}$). Након поменуте, још три године се могу издвојити као веома водне са сличним регистрованим вредностима Q_{sr} : 1956. година ($156,8 \text{ m}^3/\text{s}$), 2010. ($156,6 \text{ m}^3/\text{s}$) и 1946. ($156,5 \text{ m}^3/\text{s}$). Насупрот њима, као најсушније године детерминишу се 1994. година са $34,8 \text{ m}^3/\text{s}$, 1991. година са $36,4 \text{ m}^3/\text{s}$, односно када је регистрована вредност протицаја била нижа за 62,1% или 60,3% у односу на просечну вредност за читав истраживани период. *О изразитим варијацијама водности тока Јужне Мораве, насталих под утицајем варијације основних метеоролошких елемената и антропогених узрока, говори однос између најсушније и најводније године ХС Мојсиње од 1:5,5.*

На ХС Корвинград постоје такође значајне разлике међу најводнијим и најсушнијим годинама. Најбогија водом је била 1940. година ($147,5 \text{ m}^3/\text{s}$), коју је пратила наредна 1941. година ($144,8 \text{ m}^3/\text{s}$). Током ове две године регистроване су вредности 2,5 пута више у односу на стогодишњи просек ($60,1 \text{ m}^3/\text{s}$). Најсушнија година је, као и на ХС Мојсиње, поново 1994. година када је коритом Јужне Мораве протицало у просеку $17,5 \text{ m}^3/\text{s}$ воде годишње (за 70% нижи протицај

од просечног). Вредна помена је и 1934. година када је достигнут секундарни минимум у годишњим вредностима протицаја (24,5 m³/s). ХС Грделица карактерише се са две најводније године у 100-годишњем периоду када су регистроване дупло веће вредности протицаја од просечне за читав период која износи 23,6 m³/s: 2015. година (46,5 m³/s) и поново 1955. (46,1 m³/s). Да је 1994. година на територији јужног дела Србије била изразито сушна потврђује податак и најводније станице на Јужној Морави (Грделица) која је регистровала годишњи протицај од 9,2 m³/s, што је 2,2 пута мање од просека. Осим ње, важно је споменути и 1943. годину када су регистроване ниске вредности протицаја (9,8 m³/s). Да поменута сушна 1994. година није карактеристична само за слив Јужне Мораве може се увидети и у истраживању Langović и сар. (2017) који су идентификовали поменути годину као ону у којој су оборени рекорди по питању ниске водности у сливу Западне Мораве.

Таб. 46. Рангирање година по водности (1924-2020)

| | Ранг | Q _{sr} (m ³ /s) | Година | Број год. |
|------------|--------------|--|--|--------------|
| Мојсиње | Веома сушна | < 27,1 | - | 0 |
| | Сушна | 27,1- 34,8 | 1927,1930,1936,1949,1950,1959,1968,1990,1991,1993,1994,2001, 2011,2013,2019 | 15 |
| | Средње водна | 34,8- 123,5 | 1924,1925,1926,1928,1929,1931,1932,1933,1934,1935,1937,1938, 1939,1943,1944,1945,1946,1947,1951,1952,1953,1954,1957,1960, 1961,1964,1965,1966,1967,1969,1970,1971,1972,1973,1974,1975, 1977,1978,1979,1981,1982,1983,1984,1985,1986,1987,1988,1989, 1992,1995,1996,1997,1998,1999,2000,2002,2003,2004,2006,2007, 2008,2009,2012,2014,2016,2017,2020 | 67 |
| | Водна | 123,5- 155,7 | 1942,1948,1958,1962,1976,1980,2005,2015,2018 | 9 |
| | Веома водна | > 155,7 | 1940,1941,1955,1956,1963,2010 | 6 |
| Корвинград | Веома сушна | < 9,58 | - | 0 |
| | Сушна | 9,58- 59,3 | 1933,1934,1949,1950,1959,1968,1985,1990,1991,1993,1994,2001, 2008,2011,2013,2019 | 16 |
| | Средње водна | 59,3- 85,4 | 1924,1925,1926,1927,1928,1929,1930,1931,1935,1936,1938,1943, 1945,1946,1947,1951,1952,1953,1954,1957,1958,1960,1961,1962, 1964,1965,1966,1967,1969,1970,1971,1972,1973,1974,1975,1977, 1978,1979,1980,1981,1982,1983,1984,1986,1987,1988,1989,1992, 1995,1996,1997,1998,1999,2000,2002,2003,2004,2005,2006,2007, 2009,2012,2014,2016,2017,2018,2020 | 67 |
| | Водна | 85,4- 110,7 | 1932,1937,1939,1944,1948,1956,1963,1976,2010,2015 | 10 |
| | Веома водна | > 110,7 | 1940,1941,1942,1955 | 4 |
| Грделица | Веома сушна | < 6,2 | - | 0 |
| | Сушна | 6,2-14,9 | 1924,1927,1930,1931,1932,1933,1934,1943,1949,1950,1959,1968, 1993,1994,2001,2011,2013,2019 | 18 |
| | Средње водна | 14,9- 32,3 | 1925,1926,1928,1929,1935,1936,1938,1939,1940,1942,1944,1945, 1946,1947,1951,1952,1953,1954,1957,1958,1960,1961,1964,1965, 1966,1967,1969,1970,1971,1972,1974,1975,1977,1978,1979,1980, 1982,1983,1984,1985,1986,1987,1988,1989,1990,1991,1992,1995, 1996,1997,1998,1999,2000,2002,2003,2004,2007,2008,2009,2012, 2016,2017,2018,2020 | 64 |
| | Водна | 32,3- 40,9 | 1948,1962,1963,1973,1976,1981,2005,2006,2014 | 9 |
| | Веома водна | > 40,9 | 1937,1941,1955,1956,2010,2015 | 6 |

Анализом Сл. 90 може се констатовати блага предност сушних година у односу на водне. У квантификованом односу, 53 године (54,23%) имало је вредност средњегодишњег протицаја нижу од просечне, док је 44 године (45,8%) имало вишу вредност. Најмање разлике између виших и нижих протицаја постојане су на ХС Мојсиње, а највише на ХС Грделица.

Детаљније посматрајући Таб. 46 може се закључити да највећи број година спада у средње водне године, што је и ранијим истраживањима евидентирано као правилност (Оцокољић, 1994; Langović et al., 2017). Као што је назначено, морфометријске и морфолошке карактеристике слива Јужне Мораве и различити климатски и вегетацијски утицаји узроковали су појаву неједнаке расподеле година према водности. На Јужној Морави највише су заступљене средње водне године, са преко 60% од укупног броја и оне се региструју у просеку на сваких 1,6 година. Највећи број средњеводних година идентификован је на ХС Мојсиње и Корвинград, 69,8%, док је нешто нижи удео регистрован на ХС Грделица – 66%. Посебно интересантан податак представља најдужа појава у континуитету средње водних година који на ХС Мојсиње износи 9 година (1981-1989), на профилу Корвинград 8 година и то два пута (1924-1931 и 1977-1984) и чак 11 година на профилу Грделица (1982-1992). Трајање свих поменутих периода средњих вода прекинуто је појавом једне или више сушних година. Без обзира на чињеницу да је на ХС Грделица регистрован најдужи низ средњеводних година, на истој станици су идентификовани и најкраћи периоди појаве средњих вода у 97-годишњем периоду, односно осим поменутог низа дужих серија није било.

Са аспекта истраживања процеса ерозије обала, посебно значајан сегмент представља истраживање водних и веома водних година на три ХС. У истраживаном периоду водне године регистроване су на на ХС Корвинград 14 пута (14,4% од укупног броја), док је њихов број на ХС Грделица и Мојсиње идентичан, 15 пута (15,4%). Веома водне године чиниле су 39,7% удела у водним годинама на ХС Мојсиње и Грделица, док су ХС Корвинград чиниле 29,5%. За ХС Мојсиње важно је нагласити године 1940., 1941., 1955., 1956., 1963. и 2010. када су забележене највеће вредности средњегодишњег протицаја, а међу њима је посебно потребно истаћи њихову појаву два пута у временском низу, односно 1940-1941. године са вредношћу у просеку $155,6 \text{ m}^3/\text{s}$ и период 1955-1956. године у просеку $177 \text{ m}^3/\text{s}$. Година 1955. по регистрованој вредности протицаја може се окарактерисати и као екстремно водна, због максимума који је тада забележен. Доводећи у корелацију добијене резултате са претходно изведеним закључцима о динамици тренда водности у две етапе посматраног периода може се увидети податак да се 85% веома водних година догодило у првом истраживаном периоду, односно пре 1969. године (једино је 2010. године регистрован протицај са вредношћу од $156,4 \text{ m}^3/\text{s}$, што је 42% више од просека за цео период). Добијени податак је веома важан, с обзиром на раније утврђене вредности интензитета ерозије обала. На свим истражним секторима и меандрима високи интензитети ерозије обала регистровани су у периоду до 1970. године, да би се секундарни максимуми јавили након 2010. године. Према томе, чак и посматрајући опште хидролошке параметре (Q_{sr} или број водних година) могу се увидети веома значајне зависности са интензитетом ерозије обала.

У овом контексту још драстичнији резултати прибележени су код ХС Корвинград, јер је последње регистрована веома водна година била 1955. Пре тога још три пута је бележена и то у низу у периоду 1940-1942. године. Чињеница да у трајању од 64 године није било веома водних година говори о јединственом и специфичном водном режиму реке Јужне Мораве. Међутим, потребно је напоменути и да је неколико пута регистрована водна година близу прага карактерисања као веома водна (нпр. 1956. године вредност протицаја износила је $108,2 \text{ m}^3/\text{s}$, док је гранична вредност за прелазак у веома водну износила $110,5 \text{ m}^3/\text{s}$). ХС Грделица се према распореду веома водних година донекле разликује од претходна два. Као веома водне године издвојене су 1937., 1941., 1955., 1956., 2010., и 2015., што указује на постојање нешто вишег удела веома водних година у другом делу истраживаног периода (33,3%). У том контексту, за ХС Грделица посебно је интересантан период након 2000. године када је од укупног броја водних и веома водних година идентификовано 5 или 33,3% од регистрованих водних година за читав временски период.

Удео сушних година је у балансу са уделом водних година на ХС Мојсиње и Корвинград (14,8%, односно 15,8%), док је њихов број на ХС Грделица нешто виши и износи 18 (18,6%). За разлику од водних година, код сушних је постојана много већа временска дистрибуција у

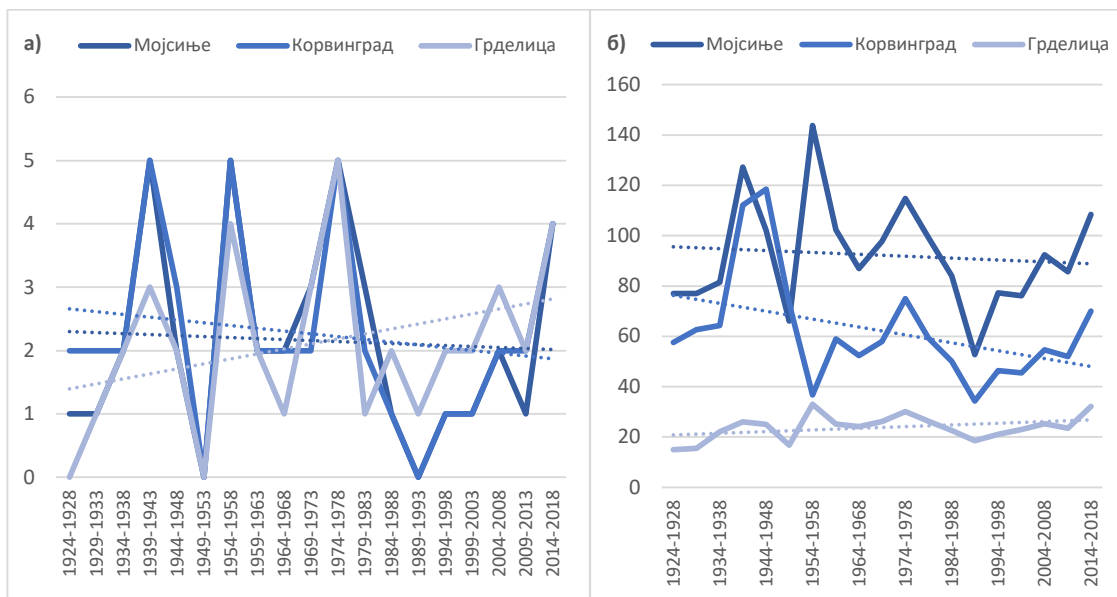
другом делу истраживаног периода (1969-2020), што доказује податак да је на ХС Мојсиње регистровано 53% сушних година у другом периоду, а на профилу Корвинград чак 62,5% у односу на укупан број сушних година. Једино је мањи удео сушних година у другом периоду регистрован на ХС Грделица, са 38,8%. Посматрајући године када је вредност протицаја била нижа, можемо уочити одређене законитости односно њихове низове. На ХС Мојсиње и Корвинград, најдужи низ сушних година износио је две и јавио се у периоду 1949-1950., 1990-1991. и 1993-1994. године. На ХС Корвинград постојан је још један краћи сушни период од две узастопне године 1933-1934. (са вредношћу протицаја од 26,1 m³/s (2,5 пута мање од просечне вредности за читав период). ХС Грделица се посебно издваја по овој карактеристици јер је у периоду од пет узастопних година (1930-1934) забележена појава суше са просечном вредношћу протицаја од 11,8 m³/s, што је дупло ниже од просечне вредности за читав период која износи 23,2 m³/s. Поред поменутог видљива су и два низа од две сушне године које су се догодиле у периоду 1949-1950. и 1993-1994. година. Према утврђеној методологији, веома/екстремно сушне године нису регистроване ни на једном профилу Јужне Мораве у посматраном периоду. На основу спроведене анализе издвајају се следеће важни сажеци:

- *Разлика у уделу свих рангова постојана је међу профилима, што алудира на то да постоји утицај локалних физичко-географских карактеристика, али и утицаја важних притока које одводњавају горње делове слива (нпр. Нишаве на ХС Мојсиње; Власине, Ветернице и Јабланице на ХС Корвинград, итд);*
- *На ХС Грделица број година са средњим водама је најнижи, односно повећан је удео сушних и влажних година што говори о најнестабилнијем годишњем режиму водности;*
- *Веома водне године делимично су у доброј корелацији са количином падавина у истом периоду, што наглашава утицај и других климатолошких фактора на водност реке;*
- *Посебно водни периоди, на годишњем нивоу, на току Јужне Мораве су били 1940-1942., 1955-1958., 1963., као и године 2010. и 2015;*
- *Најизразитији сушни период регистрован је у првој половини последње деценије 20. века (1990-1995), што је у складу са режимом падавина. Поред тога, период регистрован средином 1930-их и период 1949-1950. године посебно се детерминишу као сушни;*
- *О нерегуларном водном режиму реке Јужне Мораве у последњој деценији (2011-2020) указује податак да је чак 60% година окарактерисано као „не“ средње водне године, односно да имамо смену катастрофално водне године са сушном (нпр. 2010. као екстремно и веома водна, са 2011. годином као сушном, близу прага преласка у екстремно сушну). Управо овај податак може послужити као основа за даљу анализу водности у контексту процеса ерозије обала, јер је стабилност обале посебно зависна од екстремних хидролошких догађаја макар се они догодили и на годишњем нивоу. Каснија анализа ће указати да је довољно да један екстремни догађај класификује годину у веома водну.*

Као последња у овом низу извршена је анализа *средњегодишњих вредности протицаја и броја водних година на нивоу краћих временских интервала*. У овом случају су одабране пентаде (временске серије од пет година) у циљу лакшег и уочљивијег сагледавања ретких и екстремних хидролошких догађаја. **Анализа тренда по пентадама** одрађена је за период 1924-2018. године (без последње две године) због поделе истраживачког периода на 19 временских секвенци од по 5 година. Добијени резултати су указали на незнатни пад средњегодишњих протицаја на ХС Мојсиње, значајан пад на ХС Корвинград и незнатан пораст на ХС Грделица. Три периода се могу посебно издвојити по водности анализирајући Сл. 91а – почетак 1940-их година, средина 1950-их година и средина 1970-их година (изразити пикови).

Због значаја водних година за процес ерозије обала, на другом графикону (Сл. 91б) представљен је број година када је вредност протицаја била виша у односу на просечну за читав истраживани период, представљена према пентадама. На сва три истраживана профила могу се запазити три пика, односно три периода повећаног броја година описаних као водне – 1939-1943., 1954-1958. и 1974-1978. година. *Интересантно је истаћи да је последњи период*

од пет година 2014-2018. такође садржао чак четири године са просечном вредношћу која је већа од просека за читав истраживани период, па се из тог разлога може сматрати као четврти (секундарни) пик повећане водности Јужне Мораве. Овде се може тражити одговор на појачан интензитет ерозије обала након 2011. године на М2, М3 и М5-М7.

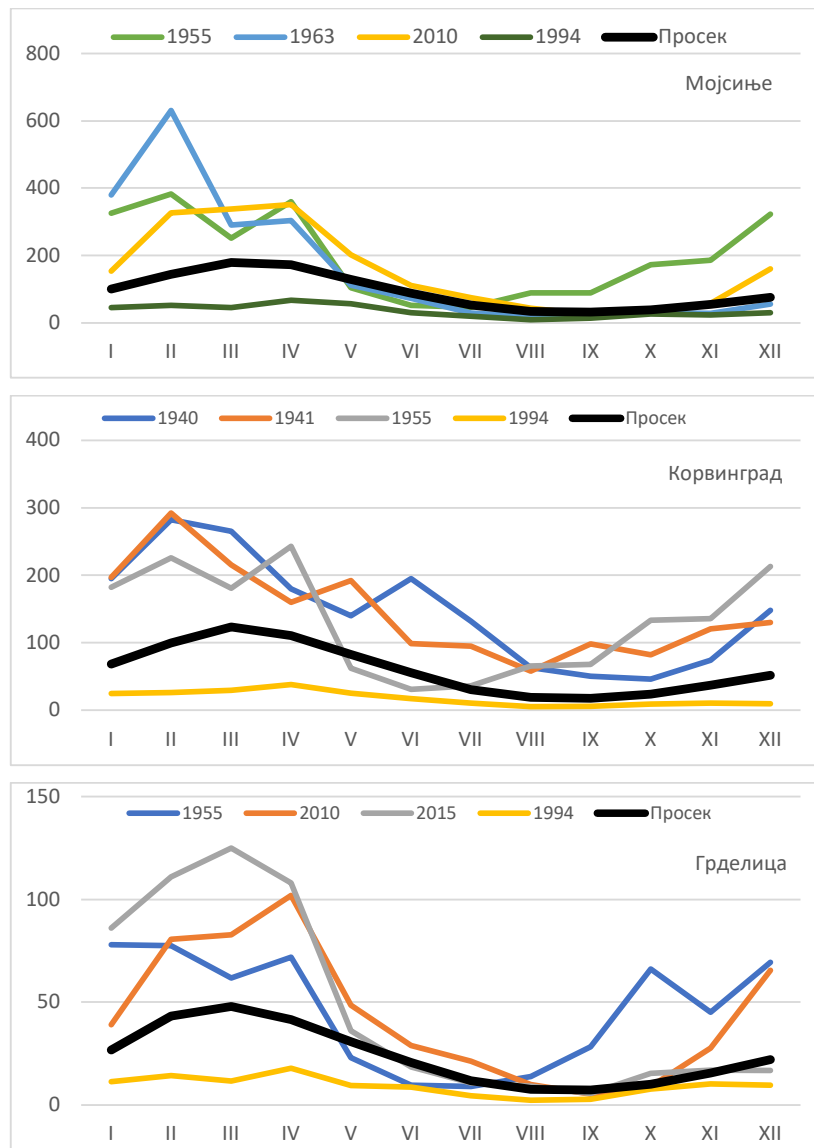


Сл. 91. Тренд средњегодишњих протицаја Јужне Мораве (а) и броја водних година према пентадама (б) (1924-2018)

Познавајући резултате истраживања морфолошких измена речног тока Јужне Мораве у последњих 100 година може се увидети (и без одрађених тестова) постојање директне условљености и релација са променама протицаја у истом периоду. У том контексту посебно се издвајају две уочене законитости током претходне анализе. Прва је у вези са резултатима спроведеног Pettitte теста током којег се период почетка 1980-их година издваја као време промене и почетак доминације опадајућих вредности протицаја. Регистрован податак у складу је са трендом интензитета процеса ерозије обала и латералног померања тока јер је на већини истраживаних меандра видљиво смањење интензитета у првом периоду након 1970. године. Ипак, због недостатка података о интензитету ерозије обала на интрагодишњем нивоу, није могуће установити пресек почетком 1980-их година већ је он инкорпориран у период 1970-1988. година. Свакако, могуће је претпоставити да је, због раније утврђених виших количина падавина које су биле карактеристичне за 70-те године прошлог века, интензитет процеса ерозије обала снижен тек са почетком наредне деценије. Друга важна законитост је поновна појава водних и веома водних година на почетку друге деценије 21. века, први пут након 1976. године (ХС Мојсиње). Ова законитост је у складу са значајним повећањем стопе ерозије обала у периоду 2010-2018. године на свим истраживаним профилима.

8.2.2. Анализа сезонских и месечних вредности протицаја Јужне Мораве

Након извршених општих закључака о годишњој и вишегодишњој водности Јужне Мораве у периоду 1924-2020. године и утврђивање првих каузалности између хидролошких параметара и вредности интензитета бочног померања, на исти начин ће бити представљена анализа месечних вредности са циљем утврђивања периода екстремних хидролошких творевина.



Сл. 92. Однос најводнијих и најсушније године у периоду 1924-2020. године према просечној години

Као што је до сада објашњено, у 97-годишњем периоду (1924-2020) забележено је неколико посебно водних година на Јужној Морави. У оквиру њих издвојене су максималне и минималне вредности протицаја, због њиховог значаја за целокупан водни режим и због бројних последица које узрокује њихова појава. На Сл. 92 графички је представљен однос између најводнијих и најсушније године (по средњемесечним вредностима) у односу на просечну годину, за три репрезентативна профила. Анализом се установљава да су водније године драстичније одступале од просечне године за 97-годишњи период (чак и до три пута више), што се у неком сегменту морало манифестовати кроз појаву одређених пикова интензивне водности Јужне Мораве.

Почев од краја пролећа и током летњег периода средње месечне воде најводнијих година су биле углавном ниже од средњих месечних вода читавог истраживачког периода. Међутим, могуће је издвојити одређене разлике у зависности од профила и године. На ХС Мојсиће током две најводније године (1955. и 1963.) су само током маја, јуна и јула средње месечне вредности биле испод просека, док је 2010. године то био читав јесењи период године. На ХС Корвинград и Грделица слично важи за 1955. годину. Посебно су интересантне две најводније године на ХС Корвинград, 1940 и 1941. година када су у апсолутно свим месецима

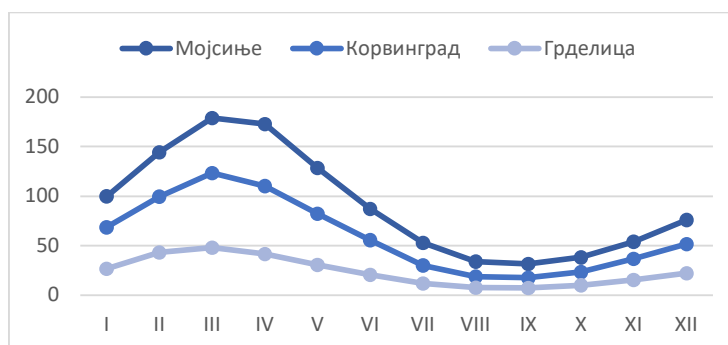
регистроване вредности веће од просечних месечних за читав период. *Када се овом податку придода и чињеница да су се оне јавиле две године за редом долазимо до врло интересантног закључка да су у 24 месеца за редом регистроване више вредности од просечних за готово 100 година. Скоро у потпуности иста ситуација је забележена и 2010. године на ХС Грделица када је, не рачунајући септембар, 11 месеци месечна вредност протицаја била виша у односу на просечну.*

За разлику од летњег и јесењег периода године, у прва четири месеца свих девет најводнијих година на три станице регистроване су веће вредности у односу на просечне. *У неким месецима су регистроване и до пет пута веће вредности, нпр. на ХС Мојсиње у фебруару 1963. године када је вредност месечног протицаја износила чак 630 m³/s, што представља апсолутни рекорд средњемесечне вредности протицаја за читав 97-годишњи период. Иако је истог месеца, исте године и на ХС Корвинград регистрован месечни максимум од 367 m³/s, због ниже водности током јесењег и летњег периода она није рангирана у три најводније на посматраном профилу. Фебруар је био најводнији месец и на последњем профилу и то 1941. године када је идентификована вредност од 155 m³/s, односно чак 6,3 пута већа у односу на просечну годишњу за читав период. За разлику од изразито водних периода, најсушнија година на све три станице је 1994. јер је током свих месеци забележена вредност била нижа од просечне. Највећа одступања код поменуто године регистрована су у марту, у просеку од 4 (Мојсиње) до 4,2 (Корвинград) пута мање вредности у односу на просечну за месец март (нпр. 29,3 m³/s у марту 1994. године на станици Корвинград у односу на 123,4 m³/s просечне мартовске вредности). Добијени резултати могу указати на још једну значајну карактеристику утицаја високе водности на процес ерозије обала. Иако су нпр. поменуте 1941. и 1963. године сличних средњегодишњих вредности протицаја, посебно израженији утицај на интензитет процеса ерозије обала регистрован је код другог примера. Зашто? У овом случају до изражаја долази претпоставка да чак један екстремно висок хидролошких догађај (у овом случају фебруарски месечни протицај) може изазвати већи степен ерозије обала и њено латерално померање у односу на годину када постоји равномерно распоређена висока водност током године. Анализом дневних вредности ће посебно дата законитост доћи до изражаја.*

У просечној години за период 1924-2020. најводнији месец на сва три истраживана профила је март са средњемесечним протицајем од 179,1 m³/s (Мојсиње), 123,4 m³/s (Корвинград) и 47,9 m³/s (Грделица), када су регистроване у просеку 50% веће воде у односу на средњегодишњу вредност за сваку од станица. Генерално, највише воде Јужна Морава има током пролећног периода године. Повећана количина воде током ове сезоне последица је интензивних пролећних падавина, као и процеса отапања снежног покривача у планинским деловима слива Јужне Мораве. Градацијски, идући према летњем периоду протицај опада, да би минималне вредности биле достигнуте крајем лета и почетком јесени. У складу са тим, септембар је детерминисан као месец у којем су забележене најниже вредности средњемесечних протицаја – 31,5 m³/s (Мојсиње), 17,5 m³/s (Корвинград), 7,2 m³/s (Грделица), што је у просеку за скоро 69% мање у односу на вредност годишњег протицаја на сва три профила. Стога, однос између водом најбогатијег и најсиромашнијег месеца износи 1:5,5 (Мојсиње), 1:7,05 (Корвинград) и 1:6,6, односно у апсолутним бројевима 147,6 m³/s, 105,9 m³/s и 40,7 m³/s. Добијени однос још више указује на неуједначеност протока воде и велике амплитуде водности што може имати утицаја на различите физичко-географске процесе, међу којима и латерално померање обала. Из тог разлога се годишњи режим Јужне Мораве може дескриптивно представити као врло неповољан.

Након периода јесењих минималних вредности, под утицајем касно јесењих падавина вредност протицаја на свим профилима почиње да расте (Сл. 93). На основу доступних података о протицају у периоду од готово 100 година могу се направити одређене разлике према три истраживане станице. Наиме, други најводнији месец на станицама Мојсиње и Корвинград је април, када су идентификоване нешто ниже вредности у односу на воднији март

– 4% мања на ХС Мојсиње, односно 9,9% на ХС Корвинград. Међутим, на ХС Грделица други месец са највећом вредношћу средњемесечног протицаја је фебруар са 43,2 m³/s, што представља 9,8% мању вредност у односу на максимални март. Основни разлог постојања поменуте неусаглашености су јачи утицаји нивалног режима храћења на низводније станице на току Јужне Мораве, јер Јужној Морави дотичу притоке које одликује снежно-кишни режим (Нишава, Власина). Нестабилност у обиму и трајању снежног покривача која је постојана у узводном делу тока Јужне Мораве условила је доминантни утицај плувилног елемента водног режима током зимског месеца фебруара. Сличну карактеристику водности приметили су и Пејић (1947) и Langović (2019) у својим студијама, узимајући у обзир краће временске интервале.



Сл. 93. Хидрограм средњемесечних вредности протицаја на три истраживана профила (1924-2020)

Још један важан показатељ статистичких серија које указују на постојање неповољног водног режима Јужне Мораве у периоду 1924-2020. године је и **коэффициент варијације** којим се представља однос између стандардне девијације и аритметичке средине низа података у временској серији (Сл. 94). Његовом употребом могуће је поредити податке међу месецима или различитим станицама, проучавајући одступања од просечне вредности средњегодишњег и средњемесечног протицаја. Анализом резултата утврђене су ниске вредности коефицијента варијације који за средњегодишње вредности протицаја износе од 0,35 (Грделица) до 0,42 (Корвинград), што указује на мала колебања средњегодишњих протицаја на сва три профила. Међутим, посматрајући према месецима могу се диференцирати они код којих је установљен велики коефицијент варијације, као и одређене разлике међу истраживаним станицама.

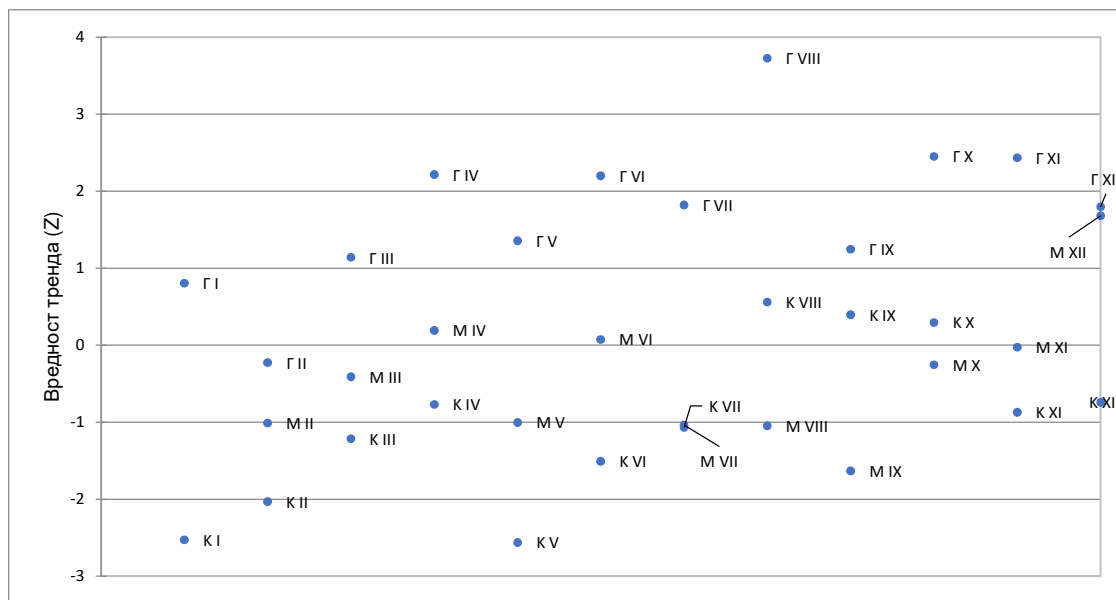


Сл. 94. Колебање коефицијента варијације средњемесечних вредности протицаја на три истраживана профила (1924-2020)

На сва три профила највећи коефицијент варијације регистрован је током октобра (C_v = од 0,86 до 0,91), и он се може описати као месец са великим колебањем ($C_v \geq 80\%$). Станица Мојсиње има најједначеније средњемесечне протицаје о чему сведочи чињеница да ни током једног месеца више није регистрован висок коефицијент варијације. На ХС Корвинград, поред

октобра, висок C_v има и месец јун – 0,81 (81%) и септембар – 0,84 (84%), док је на ХС Грделица потребно издвојити децембар и јануар са коефицијентима варијације од 0,81 и 0,85. Већина месеци на свим профилима спада у групу оних које одликује веће колебање средњемесечних вредности протицаја (C_v од 0,65 до 0,8): Мојсиње (јануар, фебруар, јун, јул, септембар, новембар и децембар), Корвинград (јануар, фебруар, јул, август, новембар и децембар) и Грделица (фебруар, јун, јул, септембар, новембар). Умерена колебања одликују пролећне месеце на сва три профила када су регистроване вредности биле у распону од 0,55 до 0,65.

Представљени подаци указују на интересантну основу за даљу анализу и објашњење. Исти не одступају од тренда варијације водности у Србији, јер је на већини река октобар издвојен као месец са највећом варијацијом у протицају. Оваква правилност се јавља као последица великих колебања у количини падавина која утиче на нагло повећање до тада најнижих вредности протицаја (достигнутих у септембру). Слично је и са јануаром и фебруаром на ХС Грделица, када нагла краткотрајна отопљавања снега у току зиме могу условити варијације у вредностима протицаја. Краткотрајна, али интензивна излучивања падавина крајем пролећа и почетком лета највећи утицај имају на висок коефицијент варијације током јуна на ХС Корвинград. Занимљив податак је и да су најмање варијације у протицају регистроване током месеци са највећом средњом вредности протицаја (март, април, фебруар), што доказује њихову константност и утицај пролећних киша и отапања снежног покривача који још увек представља регуларан и очекиван природни географски процес.



Сл. 95. Дисперзија резултата МК теста над средњим месечним вредностима протицаја за три истраживана профила (1924-2020.) – М – Мојсиње; К – Корвинград; Г - Грделица

Након спроведених анализа средњегодишњих, сезонских и месечних вредности протицаја, и установљених варијација у тренду годишњих и сезонских вредности, извршена је и **анализа тренда месечних вредности**. Сигнификантни пад у вредностима протицаја на ХС Корвинград, умерени пад на ХС Мојсиње и благи пораст на ХС Грделица детаљније су проучени применом МК теста над вредностима месечних протицаја на сва три профила. На основу анализе добијених резултата и њиховог графичког представљања у виду дисперзионих тачака (Сл. 95) могу се издвојити одређене правилности. Највећи број сигнификантних промена месечних вредности протицаја регистрован је на ХС Грделица, затим на ХС Корвинград, док је на ХС Мојсиње једина регистрована значајна промена била у децембру. Анализирајући по месецима, може се утврдити да је једини месец када је на сва три профила регистрован опадајући тренд месечних протицаја фебруар, а на ХС Корвинград једино умерено сигнификантни пад на прагу значајности од 0,05 (у просеку пад за 0,46 m³/s месечно).

На свим осталим профилима постоји неподударност у домену постојања опадајућег или растућег тренда вредности месечних протицаја.

Анализирајући податке са ХС Мојсиње и Корвинград могу се утврдити одређене сличности. Током јануара, марта, маја, јула и новембра регистровани су опадајући трендови месечних протицаја на оба профила. На ХС Мојсиње сви су били у интервалу поверења од 95%, са вредношћу тренда од -0,02 (током новембра) до -1,03 (јул). На ХС Корвинград два од пет карактерише умерено значајан пад вредности протицаја на прагу сигнификантности од 0,05 – јануарски протицаји су просечно смањивани за 0,34 m³/s, док су мајски још драстичније, односно за 4,1 m³/s месечно. ХС Грделица има готово у потпуности другачији развитак по питању водности у односу на низводне станице. Током свих месеци осим фебруара регистровани су растући трендови месечне вредности протицаја, многи од њих са значајним променама. Овакав резултат у складу је са претходно обављеном анализом средњегодишњих и сезонских промена. Месец који се посебно истиче по утврђеној позитивној сигнификантној промени, на нивоу значајности од 0,001 (0,1%) је август, на којем је вредност протицаја увећана за 3,73 m³/s током истраживаног периода од 97 година. Умерена статистичка значајност растућих трендова регистрована је и за априлске (за 2,2 m³/s), јунске (2,2 m³/s), октобарске (2,4 m³/s) и новембарске (2,4 m³/s) месечне протицаје. Током осталих месеци (јануар, март, мај и септембар) није било идентификованих значајнијих промена (Сл. 95), односно на њима је ниво значајности већи од 0,1, што указује на непостојање сигнификантности промене параметра.

Након извршене анализе појављује се неколико проблемских ситуација у домену водности које је потребно разрешити. Пре свега, поставља се питање због чега постоји неусаглашеност у варијацијама протицаја на три профила истог речног тока који нису на великој географској удаљености? Друго, шта је то утицало на пораст водности на ХС Грделица, насупрот осталим профилима и већини река на територији Србије. Поред општег смањења водности река у Србији проузроковане варијабилностима климатских услова (температуре и падавина), на постојање опадајућих трендова на низводним станицама Јужне Мораве велики ефекат имају и антропогени и регулациони радови спроведени у сливу Јужне Мораве. Поред тога, опадајући трендови ХС Мојсиње последица су и негативних варијабилности истих параметара најзначајније притоке Јужне Мораве, реке Нишаве. Langović (2019) наводи смањење вредности протицаја на ХС Бела Паланка и Ниш где је у периоду од 50 година (1968-2017) протицај снижен за чак 1,76 m³/s (Бела Паланка). Несумњиво су ове вредности утицале на водни режим Јужне Мораве. Још сигнификантније негативне промене су регистроване на важним притокама реке Нишаве (нпр. профил Станичење на реци Темска пад за 220%). Висок интензитет антропогених утицаја у сливу Нишаве, изградња акумулације Завој на реци Височици и трансфер водних ресурса према хидроелектрани „Пирот“ за потребе процеса производње електричне енергије имали су највише утицаја.

На водност ХС Корвинград посебно је утицала умерено-сигнификантно смањење протицаја на реци Власини, које је идентификовано на ХС Власотинце (са 9,6 m³/s на 6,6 m³/s). То је директна последица изградње акумулације Власинског језера и коришћења велике количине водних ресурса за производњу електричне енергије на власинским хидроелектранама. Смањен доток воде у Јужну Мораву огледа се на ХС Корвинград, на којој су регистровани годишњи значајни опадајући трендови. Слична ситуација наступила је 1980-их година и на друге две важне притоке које се уливају у Јужну Мораву на деоници између ХС Грделица и Корвинград, а које значајно утичу на одржавање њеног водног биланса, Ветерници и Јабланици. На обе реке су у поменутом периоду изграђене акумулације Барје и Брестовац што је измени водног режима, нпр. након 1981 године на Ветерници (ХС Лесковац) протицај је смањен са 4,9 m³/s на 3,4 m³/s, док је након 1987. године на Јабланици (ХС Печењевце) смањење износило чак 32,4%. Обе ХС лоциране су пред само ушће у Јужну Мораву, па умногоме могу показати карактеристике водности главне реке.

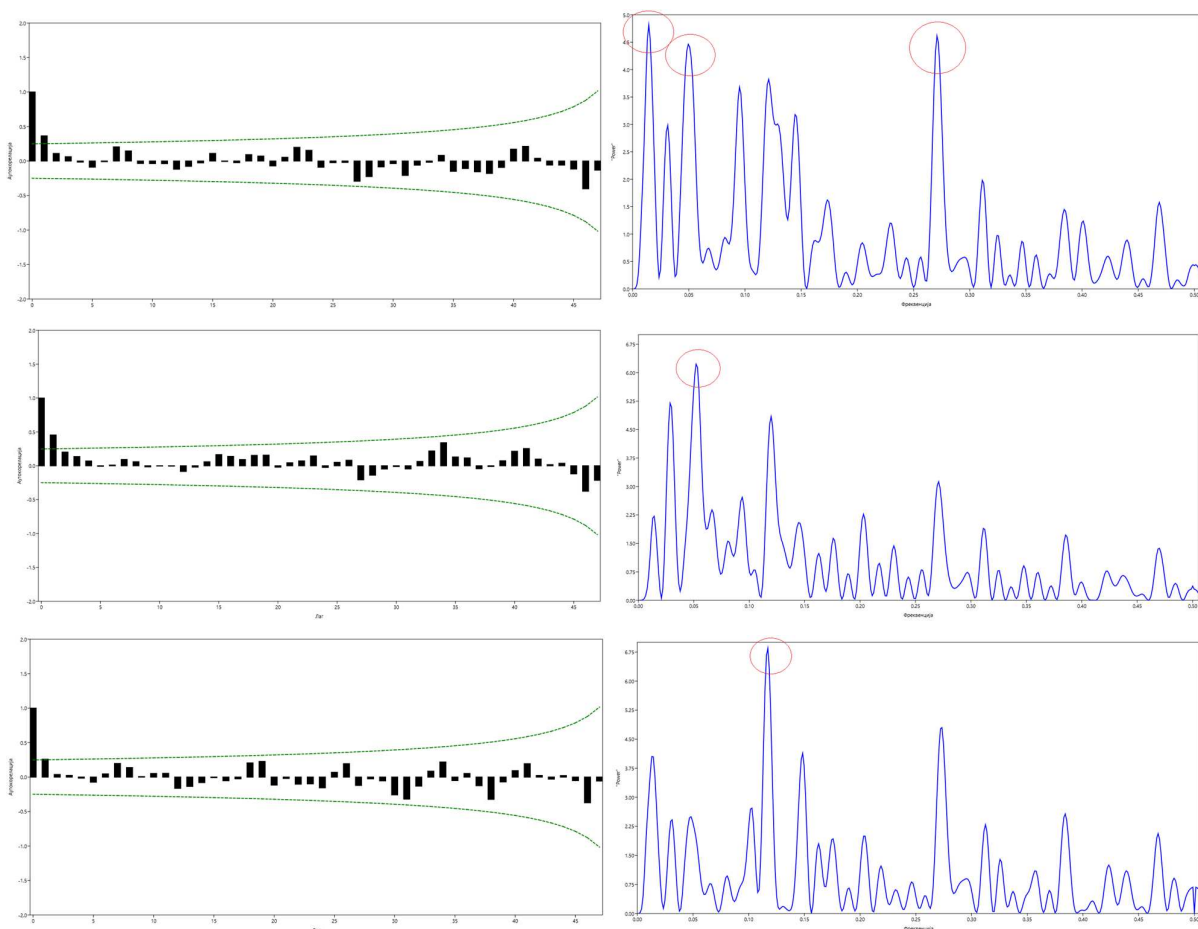
Водност ХС Грделица је такође под великим утицајем антропогених узрока, али не у великој мери као низводни профили. Уколико се и томе придода повећан доток воде који Јужна Морава у другом делу истраживаног периода добија од стране своје десне притоке Врле (из Власинског језера вода се доводи до система хидроелектрана Врла 1-4, почев од периода 1955-1958. године), могу се пронаћи обриси објашњења о повећању интензитета водности ХС Грделица.

8.2.3. Резултати примењених техника аутокореалције и спектралне анализе

Последњи корак анализе варијација средњегодишњих и сезонских протицаја обухватио је утврђивање одређених правилности поновљивости серија протицаја. У циљу уочавања циклуса и периодичности појаве највиших средњегодишњих вредности протицаја примењени су методи аутокореалције и спектралне анализе. У претходном истраживању аутора, у функцији докторске дисертације, укључена је анализа краћег временског периода, 1948-2020. година (Langović et al., 2022). Статистичка *метода аутокореалције* је примењена коришћењем истих података добијених са три главне хидролошке станице на Јужној Морави, али у дужем и репрезентативнијем периоду (1924-2020). На сва три добијена приказа на Сл. 96 представљена је вредност коефицијента аутокореалције средњегодишњих протицаја, а анализом је утврђено да се његова динамика налази у домену интервала поверења од 95% (зелена линија). На сва три примера вредност коефицијента аутокореалције износи 0,25 што указује на ниску стопу. Наиме, девијација вредности коефицијента у односу на дати интервал указује на постојање одређене значајности, односно да се временска секвенца са одређеном променом (или лагом) добро корелише сама са собом. Будући да то није случај са средњегодишњим протицајима на Јужној Морави, добијени резултати се могу описати као узајамно независни и насумични. Ипак, могуће је детерминисати постојање одређене цикличности која ће се репрезентативније исказати коришћењем метода спектралне анализе. Узимајући у обзир да по дефиницији период почиње вредношћу 1 може се уочити да се читава аутокореалација налази у 95-процентном интервалу поверења. На ХС Мојсиње (Сл. 96) можемо уочити да се првих 44 година посматраног периода одликују значајним уделом позитивне аутокореалације, док у другом примат преузима негативна корелација.

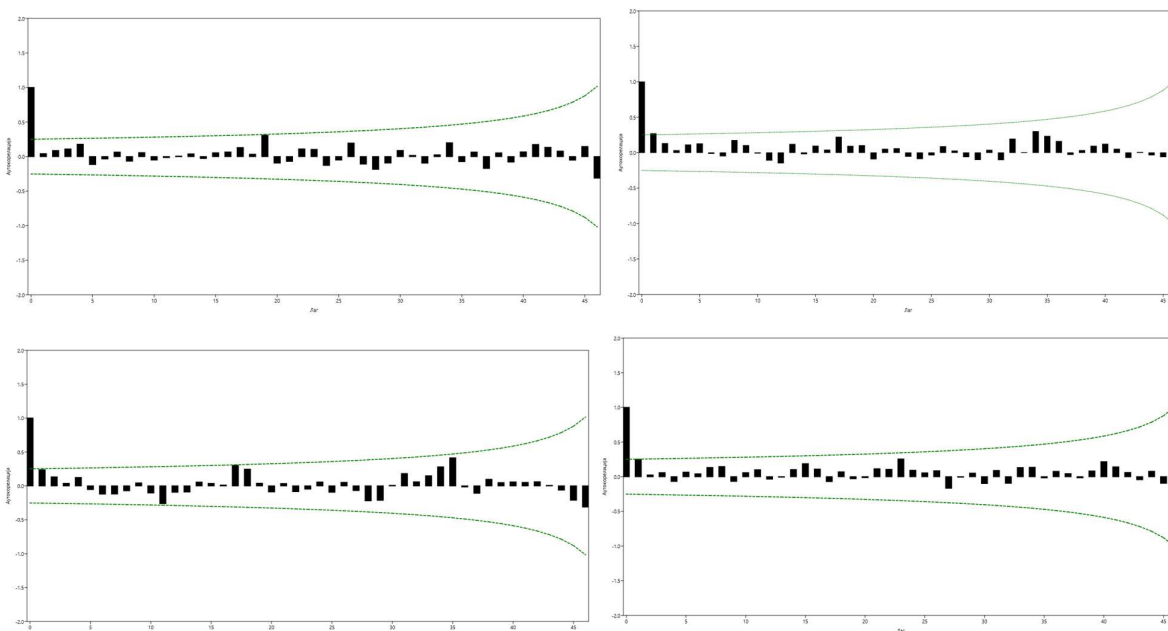
Детаљнијом анализом могуће је издвојити постојање неколико изразитијих пикова (нпр. на станици Корвинград пик означен лагом 34) који су статистички веома близу дефинисаном интервалу поверења. Оваква ситуација нужно не значи да постоји зависност међу подацима дате временске серије. За дефинисани временски интервал од 95% постоје очекивања за појаву да је око 1/20 периода статистички значајна због насумичне флукуације. У циљу отклањања сумње у конкретној временској серији протицаја, ХС Корвинград, на Сл. 97 представљени су резултати примењене аутокореалције над вредностима сезонских годишњи протицаја. Исти су указали на постојање девијације од интервала поверења код пролећних (вредност 0,27, на лагу 19) и јесењих (вредност 0,28, на лагу 17) вредности протицаја.

У циљу детаљније разраде добијених резултата примењена је и *метода спектралне анализе* над истим серијама података. Графички прикази спектограма такође су дати су на Сл. 96 за три хидролошке станице. На свим станицама, фреквенција (F) се кретала у домену од 0,01 до 0,5 што одговара периодима од 2 до 100 година (1/F). Није било потребе за анализом фреквенција виших од 0,5, јер се максимуми не очекују у том фреквенцијском домену, односно није очекивана појава периодичности.



Сл. 96. Резултати примењеног метода аутокорелације (лево) и спектралне анализе (десно) средњегодишњих протицаја у периоду 1924-2020. године за станице: Мојсиће (горе), Корвинград (средина) и Грделица (десно)

Посматрајући вредности спектограма могуће је издвојити постојање одређених изразитих пикова, од једног до три примарна и неколико секундарних. На ХС Мојсиће доминантан пик има фреквенцију од 0,02 што одговара периодичности од 50 година. Други изразити пик одликује се вредношћу фреквенције од 0,275 што кореспондира периодичности од 3,66 година, док трећи примарни пик (фреквенције 0,052) очекује свој максимум сваких 20,1 годину. Остали уочљиви пикови су секундарног значаја, *на се може закључити да тренд поновљивости максималних вредности средњегодишњих протицаја на ХС Мојсиће износи 50 година, док се они високи протицаји испод апсолутне максималне вредности очекују у просеку сваке четири године.* Другачији резултати су добијени анализирајући спектограм ХС Корвинград. Код ње је уочљив само један примарни пик фреквенције 0,062 и поновљивости серије од 16,2 године. Друга два пика („power“ > 5) су секундарног значаја и периодичности од 27,7 и 7,9 година. На ХС Грделица уочљив је један максимални пик са вредношћу фреквенције од 0,126 и периодичности од 7,2 године. Сегменти ниских фреквенција су такође уочљиви на сва три посматрана графикона. Они се често детерминишу као „хармонијски спектруми“ и карактеришу се постојањем дугих периода осцилације које утичу на вишегодишње промене вредности протицаја. Скуп значајних ниско-фреквентних спектрума конституише макро-периодичну компоненту, што значи да се низ континуирано ниских протицаја може циклично понављати током одређене временске серије. Анализирајући податке са ХС Грделица могу се уочити читаве серије ниско фреквентних осцилација које су се поновиле три пута током проучаваног периода од 97 година.

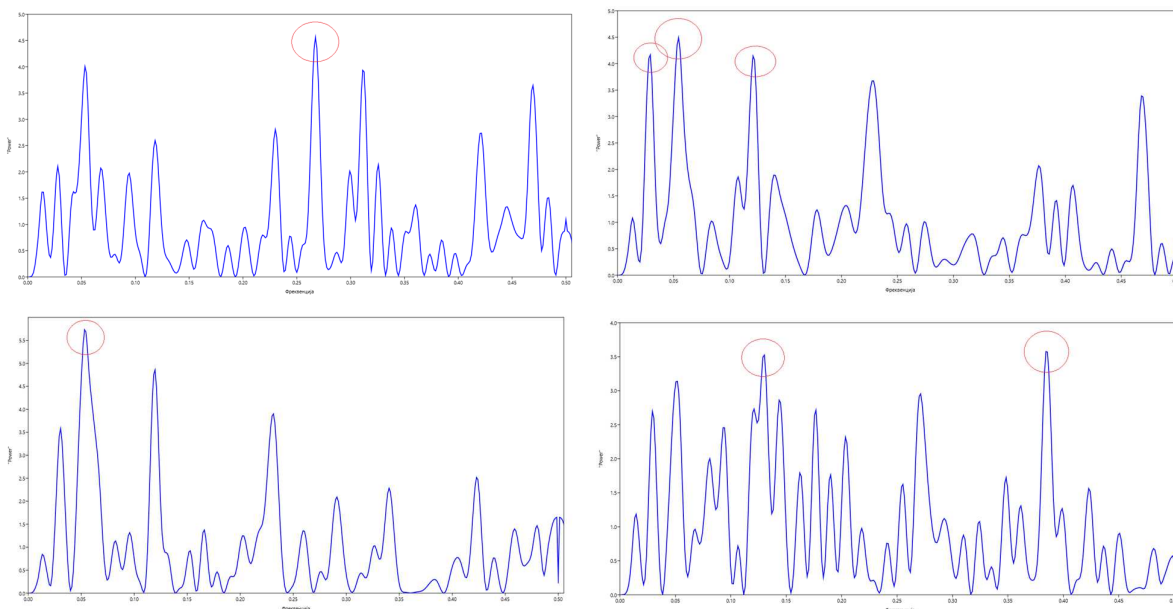


Сл. 97. Резултати аутокорејације сезонских протицаја у периоду 1924-2020. године за ХС Корвинград: пролеће (горе лево), лето (горе десно), јесен (доле лево), зима (доле десно)

Анализом четири спектограма сезонских вредности протицаја за репрезентативну ХС Корвинград (она на којој су регистроване највеће промене водности претходним анализама) презентованим на Сл. 98 могу се уочити одређене законитости. Током прелазних годишњих доба могуће је издвојити један доминантни пик и неколико секундарних: током пролећне сезоне, пик фреквенције 0,27 који одговара периодичности од 3,77 година, а током јесење сезоне пик фреквенције 0,06 који одговара периодичности од 16,9 година. Током летњег периода такође је уочљив један доминантан пик, али и још два секундарна који се одликују нижим вредностима фреквенција (0,06, 0,025 и 0,12). Према томе, може се констатовати да се максималне вредности летњих протицаја циклично понављају од 8 до 40 година. Оваква чињеница поклапа се са претходном анализом трендова сезонских летњих протицаја, односно потврђује законитост да се максимуми летњих сезонских протицаја најређе јављају током истраживаног периода од готово 100 година. Зимске протицаје одликује појава преко пет доминантних пикова различитих фреквенција и поновљивости, као и мањи број флукуација ниских фреквенција. Резултати који указују на постојање чак пет пикова максималних и високих вредности зимских протицаја корелишу се са претходно утврђеним умерено статистички значајним растућим трендом сезонских протицаја. Друга значајност везује се за чињеницу да се пик највише фреквенције од 0,381 везује за периодичност од 2,3 године, што указује на претходно утврђено повећање водности Јужне Мораве током зимских месеци станице Корвинград.

Након обрађених резултата аутокорејације и спектралне анализе може се запазити и издвојити једна посебно важна карактеристика. Изузимајући апсолутне максималне рекорде средњегодишњих протицаја који се јављају једном у 100 година истраживачког периода, секундарне максималне и изузетно високе вредности се на ХС Мојсиње јављају у просеку сваке четири године. Овај податак је посебно важан са аспекта процеса ерозије обала. Означава да постоји константни притисак екстремнијих хидролошких услова на већ деградирани обале, који се посебно манифестује кроз чињеницу да су периоде између карактерисале углавном ниске вредности протицаја. Уколико узмемо за пример период од 2010. до 2020. године можемо увидети да су се посебно интензивним процесом ерозије обала одликовале три године: 2010., 2015. и 2018. Према томе, на савременом примеру се може констатовати да

су вредности процеса ерозије обала у истакнутој корелацији са претходно анализираним и утврђеним циклусима водности Јужне Мораве.



Сл. 98. Резултати спектралне анализе сезонских протицаја у периоду 1924-2020. године за станицу Корвинград: пролеће (горе лево), лето (горе десно), јесен (доле лево), зима (доле десно)

8.2.4. Анализа дневних и екстремних вредности протицаја

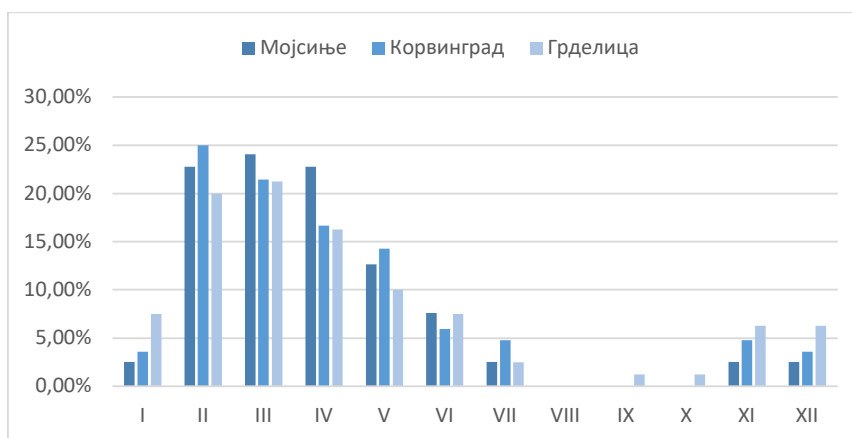
Посебан сегмент спроведеног истраживања обухвата анализу појаве максималних и минималних екстремних вредности протицаја, јер су исте препознате као главни узрочници интензивирања процеса ерозије обала. Некада и једнодневни екстремни хидролошки догађаји могу имати утицаја на интензитетом ерозије обала који је једнак вишегодишњем периоду.

Ранијом анализом, као најводнија година на току Јужне Мораве издвојена је 1955. када су на ХС Мојсиње ($198,4 \text{ m}^3/\text{s}$) и Грделица ($46,1 \text{ m}^3/\text{s}$) регистроване највише средњегодишње вредности протицаја. На ХС Корвинград је то било 1940. године са $147,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Такође, наглашено је и да исте године не морају имати и највише дневне максималне вредности на датом профилу, будући да је постојана могућност равномерног распореда плувиометријског режима током најводнијих година. Стога је у посматраном периоду највећа забележена максимална вредност протицаја на ХС Мојсиње од $2.088 \text{ m}^3/\text{s}$ регистрована током друге најводније године, односно 19. фебруара 1963. године. На ХС Корвинград максимална вредност такође није забележена током најводније године, већ током треће најводније, или 18. фебруара 1955. године са $1.650 \text{ m}^3/\text{s}$. На ХС Грделица максимална годишња вредност регистрована је 12. октобра 1955. године са $572 \text{ m}^3/\text{s}$. У сва три примера су идентификоване вредности протицаја биле и преко 20 пута више у односу на средњегодишње за исти период времена.

У склопу анализе екстремних хидролошких догађаја, сагледан је **удео месеци** у којима се они најчешће јављају у истраживаном периоду Сл. 99. На све три станице највећи удели максималних годишњих протицаја регистровани су током фебруара, марта и априла, скоро 60%. Ипак могуће је направити одређене разлике међу хидролошким станицама. На ХС Мојсиње и Грделица највише пута су се максимални протицаји јавили током марта - 24%, односно 22,1%. Након тога, на ХС Мојсиње следи исти удео максималних протицаја у априлу и фебруару (22,7%), док су на ХС Грделица учесталији максимални протицаји током фебруара (20%) у односу на април (16,2%). На ХС Корвинград на првом месту је фебруар када су се максимуми јављали у 25% истраживаног временског интервала, након чега следи март са

21,4% и април са 16,6%. На све три хидролошке станице након три најводнија месеца следе мај, са увек преко 10%, и јун, у распону од 5,9% (Корвинград) до 7,6% (Мојсиње). Јануар, јул, новембар и децембар заступљени су са мање од 5% на свим профилима, осим на ХС Грделица где су имали удео од 6,5% (новембар и децембар) и 7,5% (јануар). Током августа, септембра и октобра нису регистровани максимуми у читавом 97-огодишњем периоду на станицама Мојсиње и Корвинград, док су на профилу Грделица идентификовани по један максимум у септембру и октобру. *Чињеница да је апсолутно дневна максимална вредност на профилу Грделица у периоду 1924-2020. године регистрована у месецу са најмањим уделом максимума (октобар) још једном указује на неповољност водног режима Јужне Мораве.*

Сагледавајући поменуте хидролошке законитости по данима увиђа се да је 20. априла чак три пута забележена највећа водност на ХС Корвинград (1992., 1996. и 2014. година). Дан касније (21. априла) током три године је на ХС Грделица регистрован максимум (1992., 2010. и 2014. година), али и током 1. априла (1997., 1988. и 2009. године). На ХС Мојсиње такође се два датума у току године могу издвојити на основу високе водности: 17. фебруар који је био најводнији три године 1953., 1969. и 1998. године и 7. април, 1950., 1951. и 2001. године.

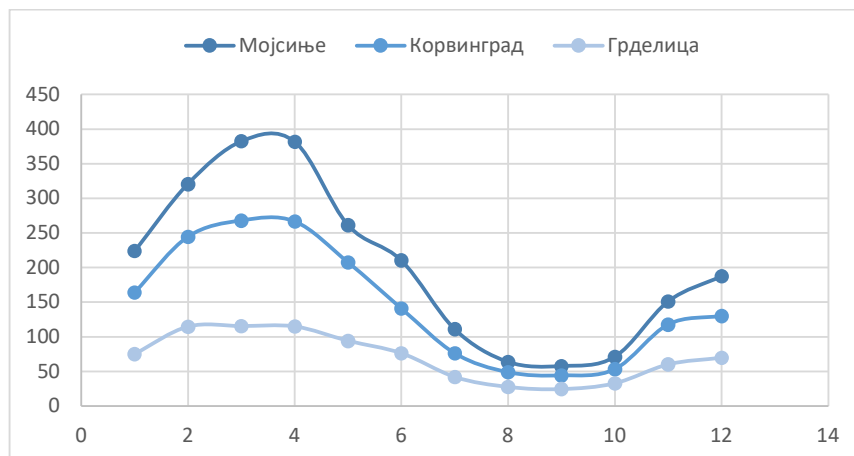


Сл. 99. Удео максималних дневних протицаја по месецима

У периоду 1924-2020. године могуће је сагледати одређене разлике у годишњем тренду динамике максималних протицаја у односу на средњегодишње вредности, а разлике су видљиве и у зависности од посматраног профила (Сл. 100). Иако су највеће средњемесечне вредности регистроване на свим профилима у марту, код средњемаксималних вредности издвајање марта као доминантног месеца готово да и не постоји. На ХС Мојсиње и Корвинград разлика између протицаја у марту и априлу износи мање од $1 \text{ m}^3/\text{s}$, и креће се од $381,7 \text{ m}^3/\text{s}$ до $382,4 \text{ m}^3/\text{s}$ на првој станици и $266,7 \text{ m}^3/\text{s}$ до $267,8 \text{ m}^3/\text{s}$ на другој. На ХС Грделица резултати су показали такође минималну разлику у вредностима протицаја између три месеца (фебруар, март и април), са тим да је у посматраном периоду максимум верификован у априлу и износио је $115,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Најмања средњемаксимална месечна вредност на сва три профила забележена је у септембру (нпр., профил Мојсиње – $57,8 \text{ m}^3/\text{s}$). *Према томе, највећа и најнижа средњемаксимална вредност у читавом репрезентативном временском периоду налазе се у односу 1:68. На основу остварених резултата потврђује се да се разлике специфичног водног режима градацијски повећавају идући од општег (средњегодишњи протицаји) према појединачном опсегу (дневни протицаји).*

Екстрем по питању најнижих вредности минималног протицаја регистровани су једном на ХС Корвинград и то 08. августа 1950. године када је вредност протицаја износила свега $2 \text{ m}^3/\text{s}$. На друге две станице било је више минималних протицаја у посматраном периоду – на ХС Мојсиње 8. јануара 1935. године са вредношћу од $5,1 \text{ m}^3/\text{s}$, као и 31. августа 1993. године $5,9 \text{ m}^3/\text{s}$; док је на ХС Грделица минимални протицај у просеку више пута варирао између 0,45 и

0,55 m³/s у периоду 1924-2020. године, нпр. 12.,13.,17. септембра 1937. године или у 21. веку, 22. јула 2012. године.

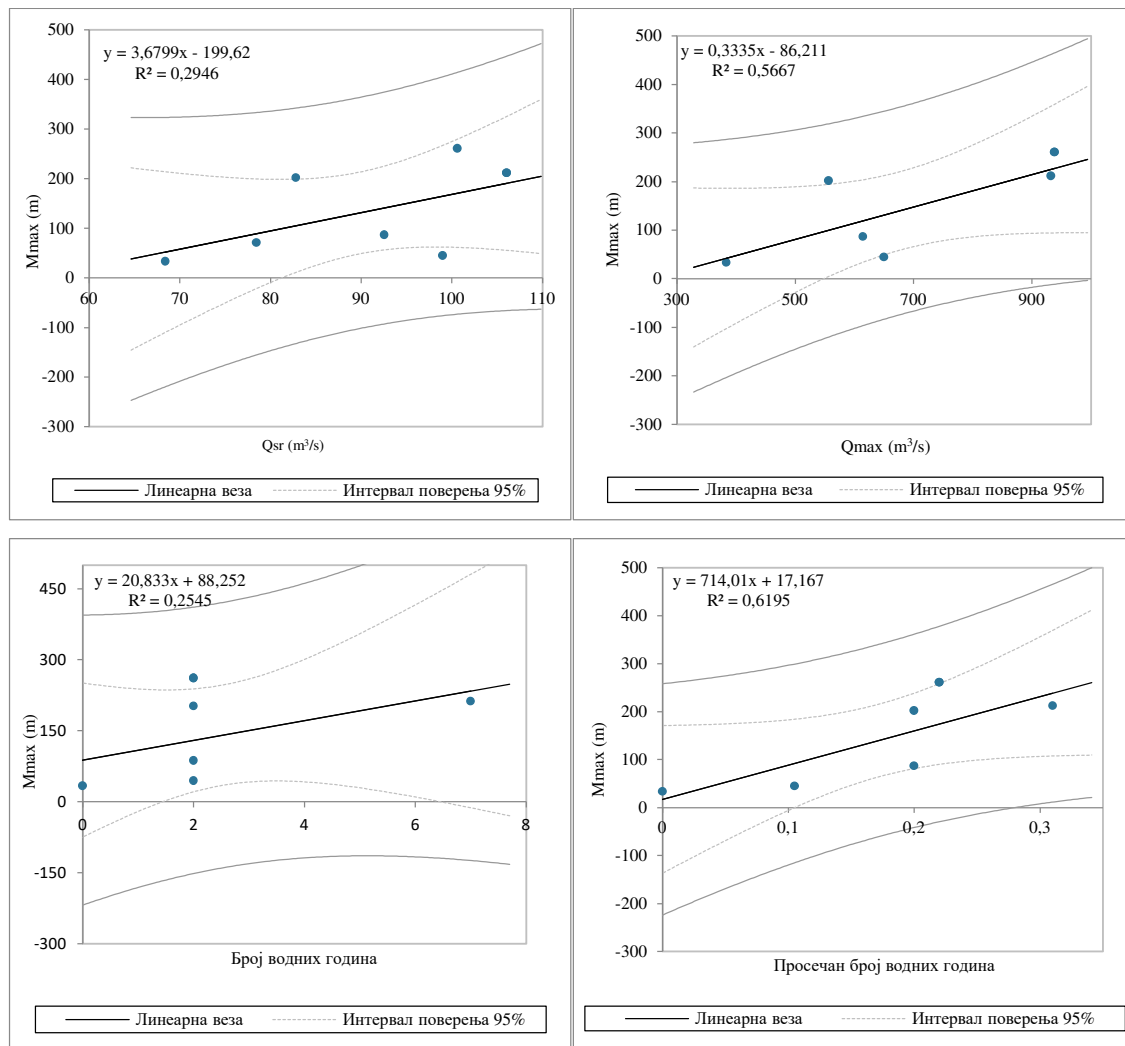


Сл. 100. Тренд максималних дневних протицаја за период 1924-2020. године на три хидролошке станице

8.2.5. Утврђивање односа између параметара водности и ерозије обала

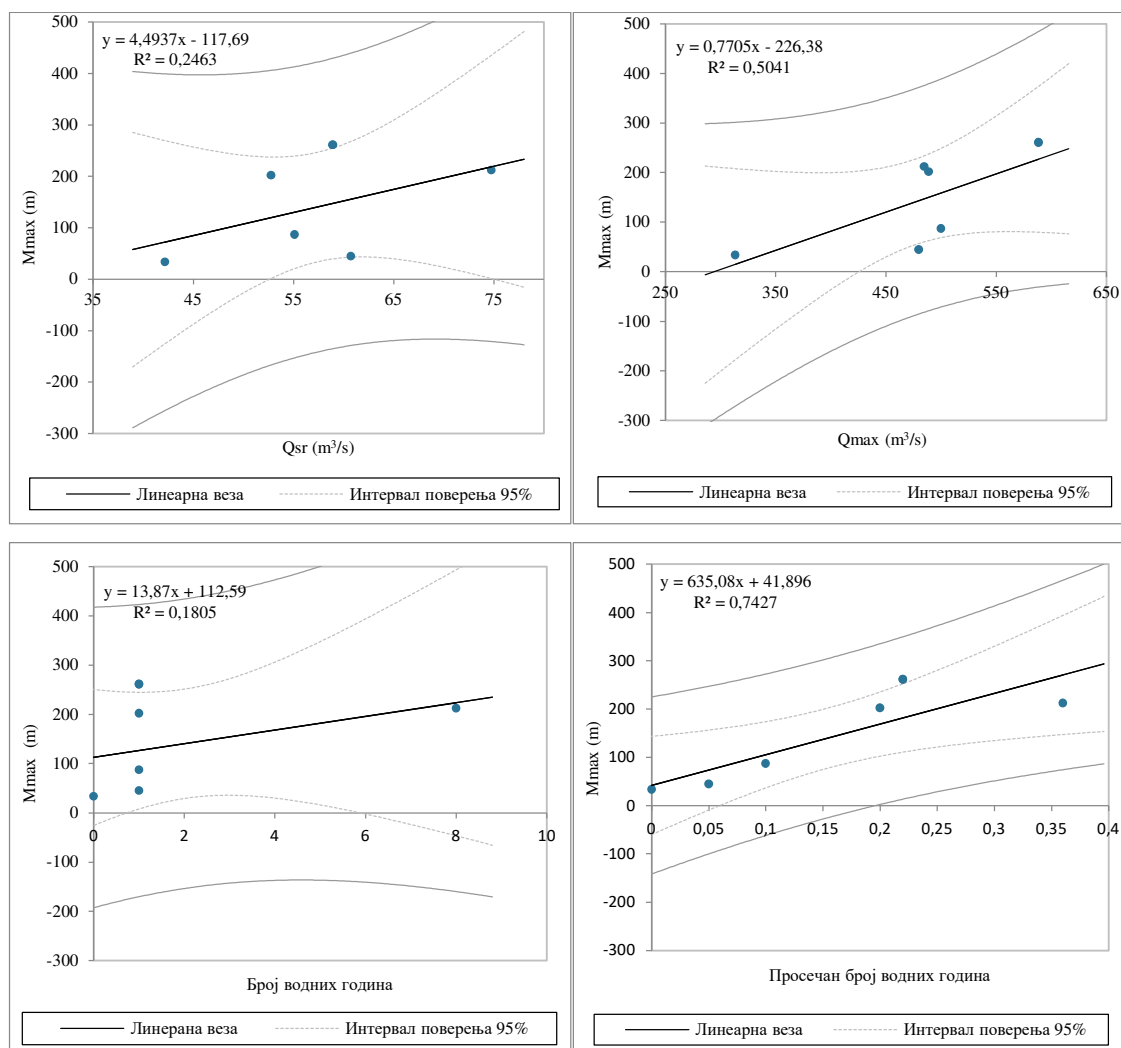
С обзиром на раније указану констатацију да се хидролошки утицаји могу препознати као најважнији елемент који интензивира процес ерозије обала, извршена је детаљнија анализа статистичке зависности између групе параметара које описују поменуте процесе. На основу израчунатих вредности губитка земљишта и максималне стопе померања са једне стране и вредности хидролошких показатеља са друге стране извршиће се анализа условљености проучаваног процеса променама у водности. На почетку су одабрани улазни хидролошки подаци за које се сматра да ће имати најрепрезентативнији утицај на интензивирање процеса морфодинамике. Стога су за потребе истраживања изабране вредности *средњегодишњег протицаја, вредности средњих максималних протицаја, број водних година и број дана са екстремним хидролошким догађајима*. Поменута четири показатеља одабрана су као прва фаза финалног циља, а то је указивање на значај / искључивање утицаја појединачних екстремних догађаја на повећање интензитета процеса ерозије обала.

Као референтни периоди проучавања узети су они за које постоје подаци о процесу латералне миграције и ерозије обала: 1924-1938., 1939-1960., 1961-1969., 1970-1988., 1989-2000., 2001-2010. и 2011-2020. година. Као репрезентативне хидролошке станице узете су Мојсиње, Корвинград и Грделица за које постоје потребни подаци у свим истраживачким периодима. С обзиром на највећи интензитет процеса ерозије обала МЗ извршено је графичко представљање линеарне условљености морфодинамике тока Јужне Мораве у односу на варијације хидролошких показатеља низводне станице Мојсиње (Сл. 101) и узводне станице Корвинград (Сл. 102). За остале проучаване секторе и станице табеларно су приказане вредности коефицијента корелације са свим хидролошких параметрима (Таб. 47).



Сл. 101. Математичка зависност одабраних хидролошких параметара (ХС Мојсиње) према интензитету максималне латералне миграције МЗ

На основу добијених резултата приказаних на Сл. 101 могу се утврдити разлике у степену условљености између вредности четири различита хидролошка параметра (независна варијабла) и максималне латералне миграције (зависна варијабла) према датим периодима. Условљеност варијација у појави средњих вода није велика, о чему сведочи вредност R^2 која износи 0,29. Слични резултати су добијени и коришћењем показатеља укупни број водних година, са нешто нижом вредности детерминације – 0,25. Овакви резултати оправдавају хипотезу да високо водна година не мора нужно значити постојање екстремних хидролошких прилика који су важни са аспекта процеса ерозије обала, већ нешто равномернију расподелу високих вредности протицаја током године. У складу са претходним, резултати регресионе анализе, коришћењем података просечних максималних протицаја као независне варијабле, указали су на постојање умерене зависности у односу према максималној миграцији (са вредношћу од 0,57). Још значајнију зависност показала је вредност просечан број водних година (број водних година/укупан број година) са 0,62 према латералној стопи, односно 62% промена у интензитету максималног померања обала може се приписати просечном броју водних година по временским интервалима.



Сл. 102. Математичка зависност одабраних хидролошких параметара (ХС Корвинград) према интензитету максималне латералне миграције МЗ

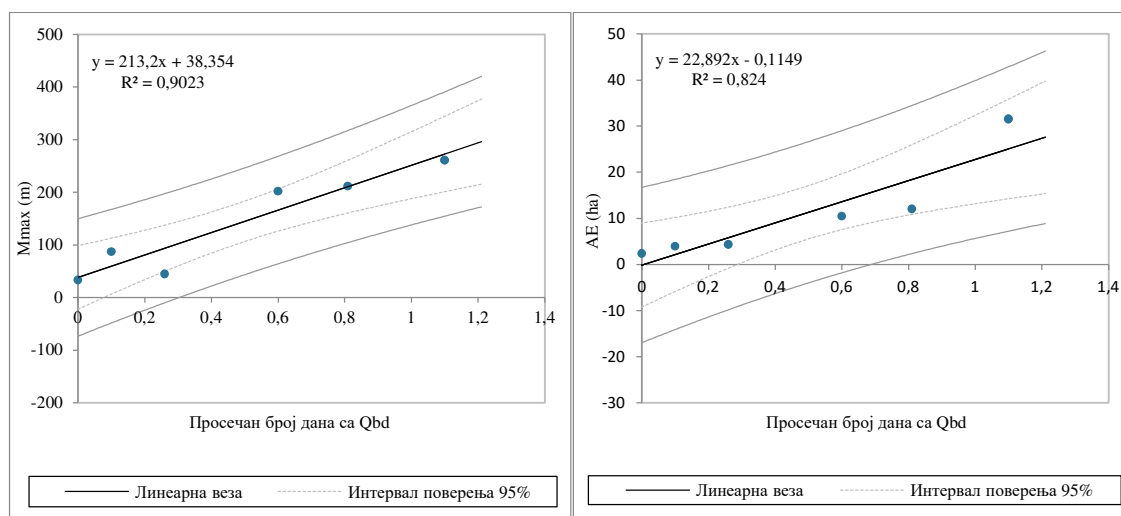
Нешто измењена међусобна зависност већине обрађених показатеља уочена је коришћењем хидролошких података прикупљених на узводнијој ХС Корвинград. На основу добијених резултата приказаних на Сл. 102 може се утврдити умерено-низак степен математичке зависности између вредности средњегодишњих протицаја и броја водних година у односу на максималну миграцију тока, јер су се вредности коефицијента детерминације кретале у распону од 0,25 до 0,18, односно од умерено-слабе до слабе условљености. Знатно виша линеарна повезаност уочена је код вредности максималних протицаја за одређене периоде ($R^2 = 0,51$). Вредност регресије од 0,74 у последњем примеру указује на постојање веома високе зависности, односно да су варијације максималне латерелне миграције 74% статистички условљене варијацијама у просечном броју водних година. На осталим профилима идентификоване су сличне регресионе зависности, као и на примеру МЗ са нешто вишим вредностима на примеру сектора I и најнижим на примеру IV сектора. Основни циљ претходне анализе је да се укаже на постулат да само одређени хидролошки параметри имају значајној утицаја на интензитет ерозије обала (они са краћим временским интервалима).

Најважније испитивање екстремних хидролошких дешавања и њихов утицај на интензитет ерозије обала, укључило је квантификовање хидролошког параметра протицаја при потпуно испуњеном речном кориту (*Bankfull discharge* – Q_{bd}). Кроз бројну стручну литературу је управо овај показатељ препознат као главни узрочник интензивног деградирања обалског појаса и

бочне ерозије. Стога је последња етапа регресионе и корелационе анализе обухватила детерминисање условљености поменутих два параметра. Кроз објашњења дата у методолошком оквиру истраживања, прецизирано је да протицај реке пре него што почне да плави алувијалну равну најчешће одговара повратном периоду од 1,75 до 2 године. Међутим, и нешто умањена вредност протицаја има значајан деструктивни притисак на обалски појас, па је стога узета најрелевантнији протицај који одговара повратном периоду од 1,5 године. Коришћењем неколико процедура за његово одређивање добијен је приближно сличан резултат који одговара вредности са конструисане криве вероватноће појаве максималних протицаја. Детерминисана вредност протицаја (у виду хидролошког прага) при испуњеном речном кориту на ХС Корвинград износи $617 \text{ m}^3/\text{s}$. Увидом у базу података дневних вредности протицаја током свих истраживаних периода детерминисан је нови параметар - просечан број дана када је протицај имао вредност вишу од претходно дефинисаног прага (укупно је 52 дана у току истраживаног периода од 97 година имало такву вредност). **У складу са тим, резултати статистичке зависности (Сл. 103) указали су на изузетно високу условљеност динамике максималног латералног померања тока на сектору М3 у односу на просечан број дана када је достигнут Q_{bd} (0,906). За нијансу нижа вредност коефицијента детерминације регистрована је приликом регресионе анализе између показатеља интензитета ерозије обала и просечног броја дана са Q_{bd} , односно око 82% промена се може објаснити варијацијама протицаја при потпуно испуњеном кориту (Сл. 103).**

Друга техника којом се може детерминисати приближна вредност Q_{bd} је коришћење постојећих попречних профила дела тока Јужне Мораве за које постоје емпиријски подаци о водостају и протицају (РХМЗС). Анализом поменутих профила утврђена висина нивоа воде након којег започиње изливање воде на површину за ХС Корвинград износи 340 см. На основу конструисане криве протицаја могуће је очитати протицај за дати ниво воде. **Међутим, с обзиром на динамичност компоненте протицаја у односу на водостај, реалније је очекивати деструктивно дејство тока проузрокованог високим протицајем на нешто нижем нивоу воде. Протицај представља веома флукуативан хидролошки елемент, где због велике брзине воде, притисак на највиши део обалског сектора може наступити и при нижим водостајима. Из тог разлога је као референтна вредност узета она од 300 см, што одговара вредности протицаја од $645 \text{ m}^3/\text{s}$. Иако постоји разлика од $28 \text{ m}^3/\text{s}$ између добијених вредности Q_{bd} , на тако високим вредностима протицаја то неће променити резултат регресионе анализе. Доводећи у однос параметар просечног броја дана са протицајем вишим од $645 \text{ m}^3/\text{s}$ и латералне миграције уочава се изузетно висока корелација, са вредношћу коефицијента од 0,95. Према томе, што се више подиже праг екстремности одређеног хидролошког дешавања јача веза и утицај на интензитет процеса ерозије обала.**

На исти начин извршено је квантификовање вредности Q_{bd} за најнизовднију ХС Мојсиње јер је тражени податак посебно важан за истраживачки сектор I и II. Према првом принципу хидролошки праг за Q_{bd} износи $802,3 \text{ m}^3/\text{s}$, док се према другом критеријуму вредност протицаја при пуном речном кориту процењује на ниво водостаја од 500 см што одговара протицају од $740 \text{ m}^3/\text{s}$. На основу добијених вредности могуће је исказати број дана у току одређене временске секвенце када је достигнут тражени ниво (према првом критеријуму 62 пута је достигнут тражени ниво, а на основу другог критеријума 76 пута). **Вредности коефицијента корелације преко 0,8 указују на изразито снажан међусобни однос параметра ерозије обала и максималног латералног померања према просечном броју дана са високим вредностима протицаја.** Подаци о Q_{bd} за ХС Мојсиње искоришћени су и приликом проучавања М2 на истраживачком сектору I. Добијене вредности корелације крећу се у распону од високе (M_{ax}/Q_{bd}) и веома високе (AEQ_{bd}). Веома снажна корелација и међусобна условљеност видљива је и на примеру М4 према подацима са ХС Корвинград (са оба параметра морфодинамике уочен је највиши ниво корелисања) (Таб. 47).



Сл. 103. Математичка зависност просечног броја дана са Q_{bd} (ХС Корвинград) у односу на интензитет процеса латералног померања тока и ерозије обала МЗ

Вредност протикаја при потпуно испуњеном речном кориту на ХС Грделица означен је прагом од $253 \text{ m}^3/\text{s}$. У том контексту видљиве су одређене промене у односу на претходне станице које су биле условљене добијеним подацима са низводнијих профила. Иако је по броју дана када је достигнут Q_{bd} и даље најзначајнији период 1961-1969. година са 15 таквих дана, наредни период 1970-1988. година такође долази до изражаја са 13 дана. Важна промена постоји и последњих 20 година, јер је по први пут по броју високих протикаја доминантнији период 2001-2010. године у односу на други период 2011-2020. године. Све се то пренело и на процес ерозије обала и латералног померања где су у међусобној корелацији са хидролошким параметром поново регистроване високе вредности коефицијента (од 0,72 до 0,75).

Таб. 47. Вредности коефицијента корелације између показатеља ерозије обала и хидролошких параметара

| ХС | М2/С1 | | М3 | | | | М4 | | М5/С4 | |
|-------------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | Мојсиње | Мојсиње | Мојсиње | Корвинград | Корвинград | Корвинград | Грделица | Грделица | Грделица | Грделица |
| Параметри | M_{ax} (m) | АЕ (ha) | M_{ax} (m) | АЕ (ha) | M_{ax} (m) | АЕ (ha) | M_{ax} (m) | АЕ (ha) | M_{ax} (m) | АЕ (ha) |
| Q_{sr} (m^3/s) | 0,11 | 0,34 | 0,54 | 0,51 | 0,49 | 0,25 | 0,55 | 0,5 | 0,15 | 0,1 |
| Q_{max} (m^3/s) | 0,56 | 0,31 | 0,77 | 0,76 | 0,71 | 0,7 | 0,61 | 0,4 | 0,21 | 0,3 |
| Број водних година | 0,45 | 0,68 | 0,53 | 0,27 | 0,41 | 0,1 | 0,42 | 0,3 | 0,27 | 0,4 |
| Просечан број водних година | 0,78 | 0,57 | 0,78 | 0,55 | 0,85 | 0,6 | 0,70 | 0,4 | 0,62 | 0,7 |
| Просечан број дана са Q_{bd} | 0,78 | 0,83 | 0,86 | 0,85 | 0,95 | 0,90 | 0,84 | 0,80 | 0,75 | 0,72 |

Сагледавајући представљене податке у Таб. 47 јасно се може увидети тачност хипотезе да се идући од опитијих ка конкретнијим хидролошким показатељима повећава утицај на интензитет ерозије обала. Из тог разлога су приликом анализе у обзир узете и вредности Q_{sr} и број водних година (за које се није очекивало да имају високог дејства на процес). Поред Q_{bd} -а хидролошки параметар који је готово на свим примерима показао високу или умерено до јаку зависност је просечан број водних година нарочито на примеру М3. Неколико дана са вредностима изнад Q_{bd} карактеришу једну годину као водну, што директно утиче на постојање претходне зависности.

У наставку ће бити представљана анализа **специфичних екстремних хидролошких прилика** (са вредностима изнад Q_{bd}) које су регистроване током истраживаног периода 1924-2020.

године. Укупни период ће бити подељен на сегменте према раније дефинисаним временским интервалима. У првом интервалу (1924-1938) регистрована је значајна стопа померања обала изражена у виду процеса ерозије обала са једне стране и природне измене речног корита са друге стране. Вредности средњегодишњег протицаја за дати период кретала су се у распону од 17,4 m³/s (Грделица), преко 61,5 m³/s (Корвинград) до 78,5 m³/s (Сталаћ-Мојсиње). На основу добијених резултата можемо увидети да овај период карактерише мање воднији интервал у односу на просечну вредност 100-годишњег периода уз 13,8% мању вредност протицаја на ХС Мојсиње и чак 26% мању на ХС Грделица. Свега 1 m³/s већа вредност регистрована је на ХС Корвинград у односу на укупну вредност. У складу са тим овај период карактерише постојање више сушних у односу на водне године (на профилу Грделица у односу од чак 7:1). На ХС Мојсиње нису регистроване водне године, на ХС Корвинград две (1932 и 1937), док је 1937. година на ХС Грделица означена као веома водна. Од екстремних хидролошких прилика посебно је потребно издвојити 20. јул најводније 1937. године када је на ХС Корвинград регистрован протицај од **1.050 m³/s** (352 m³/s на профилу Грделица). На оба профила престигнут је ниво Q_{bd}. **Достигнута вредност одговара 75-годишњим водама (вероватноћа појаве до 1,5%)**. Услов за изразити пораст водности Јужне Мораве су веома интензивне падавине које су регистроване у истом периоду, што је разматрано и током анализе климатолошких узрока (19. јул – 60 mm на станици Лесковац, 34,5 mm на станици Клисуре, 46 mm на станици Цеп). Краткотрајне интензивне падавине у једном од најсушнијих периода године имале су значајан утицај на екстремни хидролошки талас Јужне Мораве. Политика из 20. априла 1937. године (број 10470) преноси о јакој поплави која је задесила простор долине Јужне Мораве од Лесковца до Ђуниса наводећи велике штете учињене обалском појасу, пољопривреди и саобраћајној инфраструктури. Други екстремнији догађај исте године десио се 4. децембра када су интензивне кише и топлење првог снега у долини Јужне Мораве изазвали велику брзину и разорну моћ водене масе.

Наредни период 1939-1960. године карактерише се апсолутно и просечно вишим вредностима интензитета ерозије обала и латералног померања тока на свим истраживаним профилима. У хидролошком аспекту у домену средњегодишњих просечних протицаја видљиве су више вредности у односу на период 1924-1960. године. На ХС Грделица регистроване су вредности протицаја од 24,1 m³/s (4% више у односу на просечну за период 1924-2020), на ХС Корвинград 74,5 m³/s (19% више), а на станици Мојсиње 106,5 m³/s (14% више). Једна од значајних карактеристика је знатно повољнији однос водних и веома водних година у односу на сушне (нпр. на ХС Корвинград у односу 8:3). У том контексту важно је напоменути податак да је чак 36% година на ХС Корвинград означено као водне године, од којих су четири године (1940-1942. и 1955) по регистрованим вредностима средњегодишњих протицаја систематизоване као веома водне. Посебно важна за аспекта ерозије обала била је 1955. година када је на две станице регистрован највећи дневни максимални водостај и протицај од почетка мерења.

*Коинциденција појаве великих вода на притокама и главном току условљена отапањем снега у вишим деловима слива Јужне Мораве и повећана количина падавина средином фебруара 1955. године условила је појаву изразитог екстрема водности са максималним дневним протицајем 19. фебруара на ХС Корвинград од **1.590 m³/s** (26 пута виша вредност у односу на просечну и чак 2,5 пута виша водност у односу на протицај при пуном речној кориту) и 20. фебруара на ХС Мојсиње **2.080 m³/s** (23 пута виша вредност). У другом случају регистровани екстремни рекорд није промењен ни 65 година касније. На основу конструисаних крива вероватноће максималних годишњих протицаја у периоду 1924-2020. године, утврђено је да обе вредности **одговарају 100-годишњим водама са вероватноћом појаве од 1%** (Сл. 105). Екстремно високе вредности протицаја су забележене и наредне 1956. године под утицајем пораста температуре и наглог отапања леда на реци и снега у планинским деловима слива. Нагомилавање ледених санти у деоницама широких меандара река, посебно око ушћа Јабланице, Пусте реке и Нишаве утицало је на изливање речног тока и често мењања правца. Гавриловић (1981) бележи да је посебно критична деоница била на потезу од ушћа Нишаве*

низводно где је нагомилан лед у дужини од 15 km (простор М4 и М3). Леда на ушћу Јабланице код четвртог истраживаног сектора је било толико да је он минирао 19. фебруара 1955. године. Управо се овде може тражити објашњење за појаву изразитог лутања тока Јужне Мораве у истраживачком сектору IV које је претходно утврђено за период 1939-1960. године.

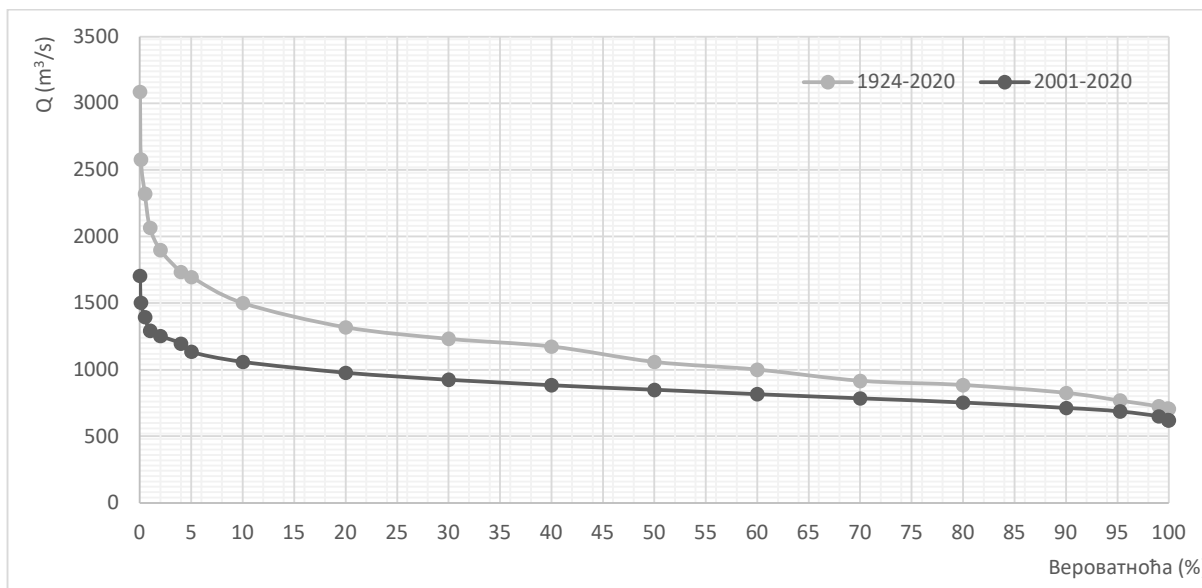
Период 1961-1969. се на основу добијених резултата интензитета ерозије обала издваја као најекстремнији. Претходним анализама утврђено је и да су средњегодишње вредности у том периоду биле високе, али се ипак посебан значај даје максималним протицајима регистрованим 1962., 1963. и 1965. године. **Посебно треба нагласити 1963. годину када је на станици Мојсиње забележено чак седам дана са протицајем изнад вредности Q_{bd} .** Слично као и 1955. године, 19-20. фебруара 1963. године регистроване су веома екстремне вредности протицаја на сва три профила: Грделица ($593 \text{ m}^3/\text{s}$), Корвинград ($1.030 \text{ m}^3/\text{s}$) и Мојсиње ($1.850 \text{ m}^3/\text{s}$) – **поплавни талас са вероватноћом повратка од 2%**. Постоји неколико важних фактора који су условили овако интензиван водени талас: веће количине падавина на простору Старе планине и Власине, што је праћено брзим отапањем снежног покривача, ношењем и нагомилавањем ледених санти; као последица таквог процеса на деловима тока са смањеном брзином воде дошло је до преграђивања и акумулације воде, а након тога појава ледених поплава изузетно разорног дејства. Трећи разлог је испуњеност речног дна наносом који је несметано доспевао из слива. Са таложењем наноса по дну речног корита смањује се његова пропусна моћ као и вредност протицаја при потпуно испуњеном кориту, што доводи до интензивнијег изливања воде из речног корита. Након периода 1960-их година и интензивних регулационих радова на току Јужне Мораве, али и антиерозивних радова у сливу, претходни процес засипања корита је заустављен и данас је актуелна супротна тенденција – продубљивање речног корита.

У периоду 1970-1988. године регистровано је неколико воднијих година који се поклапају са интензивним излучивањем падавина у планинским деловима слива Јужне Мораве. Међутим, није регистрован већи број екстремних таласа што се манифестовало и смањењем интензитета ерозије обала у односу на претходне интервале. Управо се у овом периоду може видети значајан антропогени утицај како на речни режим, тако и на процес латералног померања. У наредном периоду (1989-2000) није регистрована ниједна водна година, нити дан са вредношћу протицаја преко Q_{bd} -а. Овакво стање се аутоматски манифестовало на процес ерозије обала који је у датом периоду био готово у стагнацији.

По питању екстремности у периоду 2001-2010. године потребно је диференцирати последњу 2010. годину. Током априла месеца, тачније 21-23. априла регистровано је неколико дана са екстремним вредностима протицаја на сва три истраживана профила: **434 m^3/s (Грделица), 836 m^3/s (Корвинград) и 1.200 m^3/s (Мојсиње).** Због знатно виших вредности протицаја у односу на дефинисане прагове на ХС Грделица највеће последице осетиле су се на деградиране обале меандара који су део истраживачког сектора IV. Почетком марта 2018. године је такође било екстремно на току Јужне Мораве када су пре свега на станицама **Корвинград ($950 \text{ m}^3/\text{s}$) и Мојсиње ($1.010 \text{ m}^3/\text{s}$)** достигнути високи апсолутни максимуми протицаја. У циљу детаљнијег сагледавања утицаја хидролошких фактора на интензитет ерозије обала у периоду 2001-2020. година извршена је **анализа вероватноће појаве великих вода.** Избор претходне методе заснива се на могућностима утврђивања повратних периода високе водности и корелацијом са интензитетом ерозије обала. Крајњи циљ подразумева предикцију будуће динамике ерозије обала на основу појаве значајних хидролошких догађаја. На основу података о максималним годишњим протицајима у периоду 2001-2020. године, конструисана је крива вероватноће појаве великих вода Јужне Мораве – ХС Мојсиње (Сл. 104).

У циљу најреалнијег издвајања повратних периода великих вода извршено је детерминисање одређених хидролошких прагова. Први хидролошки праг на нивоу Q_{bd} одликује повратни период од 1,5 до 1,7 година. Протицај виши од $924 \text{ m}^3/\text{s}$ може се очекивати једном у 3,5 године,

а вероватноћа да ће се десети износи 30%. Овакав податак сличан је и са реалном ситуацијом, јер се вредност протицаја изнад постављеног прага јавила четири пута у периоду од 20 година.



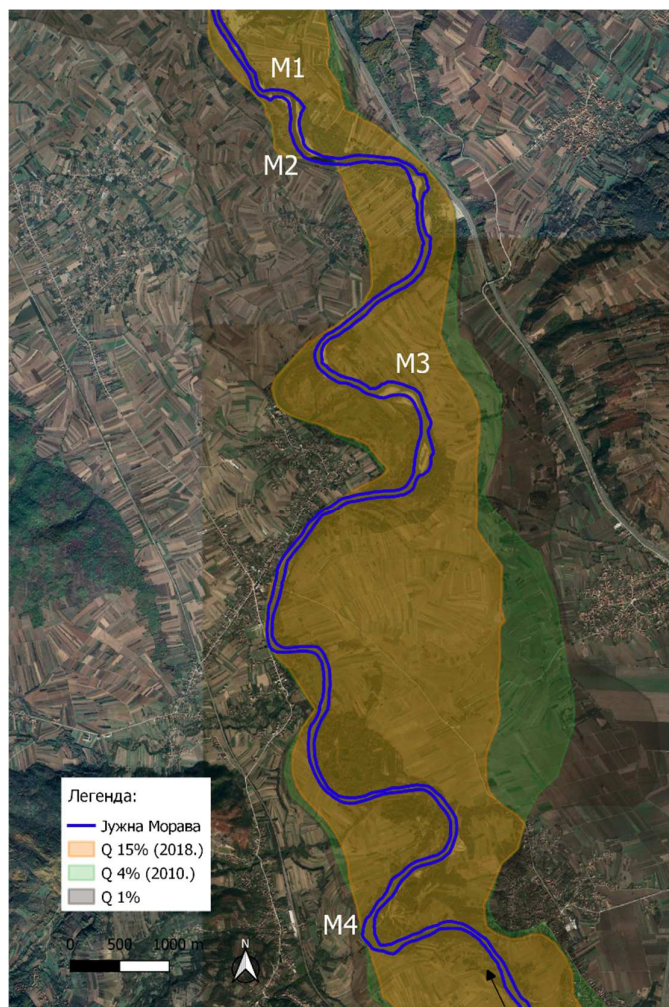
Сл. 104. Вероватноћа појаве максималних годишњих протицаја на ХС Мојсиње

Један од најекстремнијих поплавних таласа у периоду 2000-2020. године, регистрован је 6-7. марта 2018. године када је вредност максималног годишњег протицаја износила $1.010 \text{ m}^3/\text{s}$. Утврђена вредност очекује се једном у седам година, са вероватноћом од 15%, према приложеној криви. Реално стање се заиста поклапа са изнетим примером, односно у 20 година три пута је достигнут и претигнут утврђени праг (поред 2018. године, и 2015. године $1.050 \text{ m}^3/\text{s}$, као и 2010. године $1.200 \text{ m}^3/\text{s}$). Вредност протицаја из 2010. године одговара 25-годишњим водама са вероватноћом појаве од 4%, док вредност из 2015. године приближно одговара десетогодишњим водама. Важно је напоменути да се у будућности може очекивати и појава 50-годишњих вода (на прагу од $1.260 \text{ m}^3/\text{s}$).

С обзиром на постојање адекватних податка о интензитету ерозије обала у периоду 2018/17 могу се извршити одређене предикције. Као пример узет је МЗ на којем је свим претходним анализама утврђен највиши интергодишњи, сезонски и интрагодишњи интензитет ерозије обала. У периоду јул 2017 – април 2018. године максимална латерална миграција тока Јужне Мораве на низводном сегменту МЗ износила је рекордних 102 m ($10,2 \text{ m}/\text{месечно}$), док је током истог периода еродовано око 3,2 ha земљишта. Прва фаза процене укључила је анализу хидролошких дешавања током назначеног периода, изузимајући 6-7. март 2018. године када је достигнут пик. Реч је о периоду који је обухватио летњу и зимску фазу мале воде са вредностима протицаја нижим од средњегодишње вредности. Једино је 2-3. децембра 2017. године достигнута вредност 70% од раније установљеног Q_{bd} (односно $653 \text{ m}^3/\text{s}$). Поменута вредност може имати одређеног утицаја на ерозију обала и подривати је у нижим деловима, али је дефинитивно дупло виша вредност регистрована три месеца касније била доминантна.

Уколико се прихвати хипотеза да је свих 3,2 ha ерозије обала обављено у периоду екстремних протицаја (6-7. март) са утврђеним повратним периодом од седам година, процена је да у периоду 2019-2032. године процесом ерозије обала може бити изгубљена површина од чак 6,4 ha (од априла 2018. године). Наравно, реч је о потенцијалним губицима насталим под утицајем само једног поплавног таласа са седмогодишњим периодом повратка. С обзиром да се нешто ниже вредности протицаја (али изнад Q_{bd}) одликују краћим повратним периодима (нпр. вредност протицаја од $924 \text{ m}^3/\text{s}$) реално је очекивати знатно већи интензитет ерозије обала!

Најбољи доказ за то се добија детаљнијом анализом периода април 2018 – новембар 2021. године који је урађен у наредном сегменту дисертације. У том периоду већ је процесом ерозије обала деградирано 2,56 ха обалског земљишта или 80% у односу на истакнути период од седам година. Елементи који су највише допринели оваквом стању су: то да нагло деградирану и нестабилну обалу након поплавног таласа из марта 2018. године лакше могу подривати и рушити протицаји са много нижом вредношћу (и испод вредности Q_{bd}) (а), појава новог екстремног таласа из јануара 2021. године (б) и одсуство утицаја вегетације у процесу стабилизације и ублажавања ерозије обала због доминантности ораничних површина дуж конкавне обале меандра.



Сл. 105. Плавне зоне дуж три истраживана сектора
(Основа: www.srbijavode.com)

На Сл. 105 представљен је приказ плавне зоне из 2018. године (15% вероватноће) у односу на стогодишње воде (1%) и 25-годишње воде из 2010. године. Посматрајући сегменте око три истраживана сектора могу се увидети интересантне законитости. За разлику од М2 и М4 који на основу ширине плавне зоне нису под јаким притисцима речног тока у време виших протицаја, код М1 и М3 јавља се значајна угроженост. Код М2 под утицајем појаве седмогодишњих вода поплазни талас може напредовати до конструисаног насипа. Највећа ширина плавне зоне налази се у наставку деградиране обале М3 што је у координацији са претходно детерминисаним регресионим зависностима и високим интензитетом процеса ерозије обала на почетку 21. века. У случају процењеног интензитета у будућем периоду које укључује интензивно просечно годишње деградације обале М3 постоји могућност појаве

самопресецања, што може имати значајне хидролошке и геоморфолошке измене на читав сектор тока Јужне Мораве.

8.2.6. Варијације водности у рецентном периоду као узрок ерозије обала

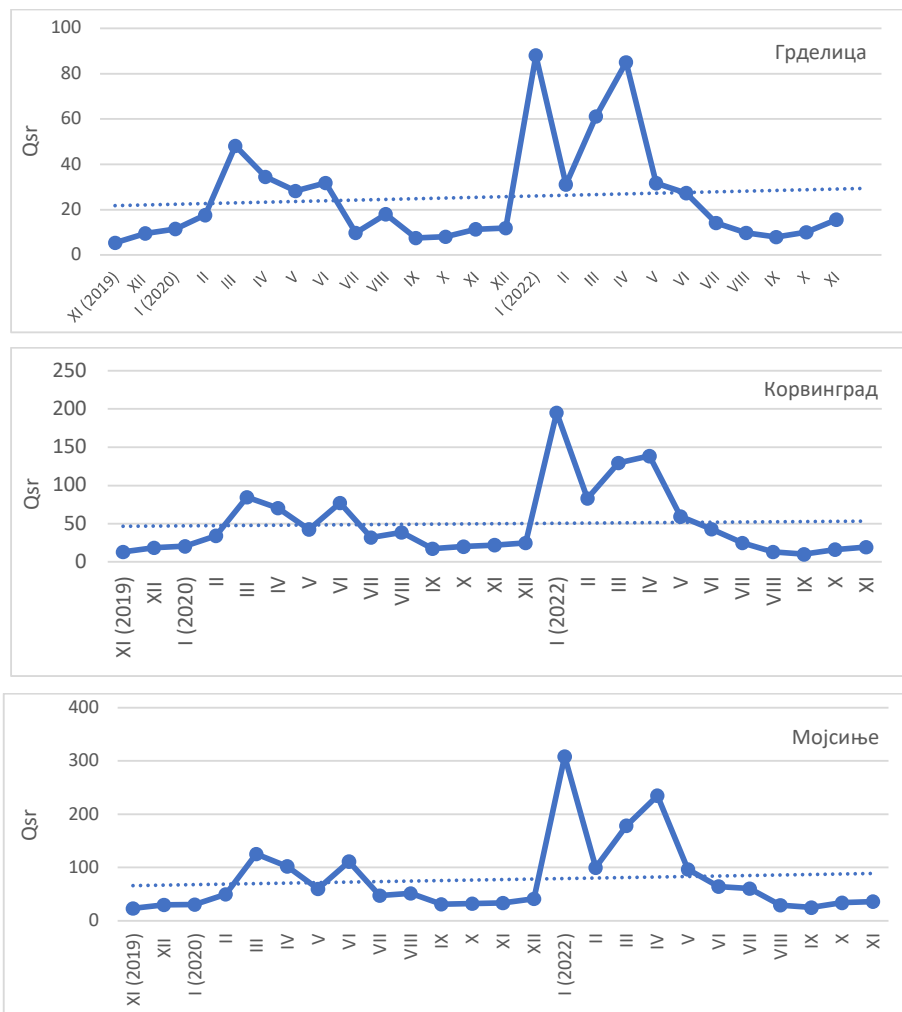
Наглашавање рецентног периода, када су спроведена теренска истраживања (новембар 2019 – новембар 2021) од посебне је важности. Проучавања хидролошких утицаја обавиће се преко анализе средњих месечних и дневних протицаја у 24-месечном репрезентативном периоду истраживања. Подаци за период 2019-2020. године добијени су из Хидролошких годишњака (РХМЗС, 1948-2020), док су дневни подаци о вредностима протицаја за 2021. годину добијени свакодневним регистровањем на званичном сајту институције, без претходног публикавања у годишњацима. Слично као и за генералну анализу, подаци су коришћени са три хидролошке станице: Мојсиње (М1-М3), Корвинград (М3-М4) и Грделица (М5-М7).

Претходно урађеним анализама делимично је обрађена водност 2019. и 2020. године. Година 2019. према вредностима средњегодишњих протицаја окарактерисана је као сушна са годишњим протицајем и до 39% мањим од просечног за 97-годишњи период. У складу са тим на ХС Корвинград регистрован је годишњи протицај од 31,8 m³/s (просечна 60,17 m³/s), на ХС Мојсиње 53,04 m³/s (91,45 m³/s), а на ХС Грделица 14,5 m³/s (23,6 m³/s). Година 2020. класификована је као средњеводна са тенденцијом преласка у сушну о чему сведоче вредности протицаја које су ниже за око 35% на ХС Мојсиње (59,6 m³/s), 33,2% на ХС Корвинград (40,2 m³/s) и за 15,8% на ХС Грделица (19,8 m³/s). За разлику од ранијих, 2021. година карактерише се као средњеводна или водна година у зависности од проучаване станице. У узводнијем делу тока Јужне Мораве (Грделица) са просечном годишњом вредношћу вишом за 28% од средњегодишње за читав период (32,6 m³/s), 2021. година окарактерисана је као водна година. На ХС Корвинград исти период се одликује средњегодишњим протицајем од 64 m³/s, а на станици Мојсиње 104 m³/s. Према систематизацији година на основу водности, 2021. година се на обе станице сматра средњеводном са нагласком на нешто више вредности у односу на просечни 100-годишњи период (на ХС Корвинград виша за 7,5%, а на ХС Мојсиње за 12,5%).

Вредности месечних протицаја варираше су током две године осматрања о чему сведоче хидрограми представљени на Сл. 106. У том контексту, посебно се на све три станице издвајају јануар, март и април 2021. године када су регистроване највише средњемесечне вредности протицаја за читав осматрани период. На ХС Грделица месечне вредности протицаја у јануару 2021. године достигле су 88,5 m³/s, што представља највиши месечни протицај још од периода март-април 2015. године. Исте године у априлу су регистроване високе месечне вредности протицаја од 85,3 m³/s. Након поменутих следи период великих вода 2020. године када је пик забележен током марта са просечним протицајем од 51,2 m³/s. У осталим месецима постоје одређене флукуације, али са аспекта процеса латералног померања и ерозије обала нису значајни – серија ниских протицаја током летњих и зимских месеци са изузетком јула 2020. године када су регистроване високе јулске месечне вредности од 18,5 m³/s.

Наглашене максималне месечне вредности достигнуте су и на ХС Корвинград са 201 m³/s јануарском месечном вредношћу протицаја. То је највиша месечна вредност протицаја од марта 2018. године, а уједно и једна од највиших јануарских месечних вредности протицаја (заједно са јануарским протицајем 2003. године). Сигнификантне су и месечне вредности протицаја регистроване у априлу (138,2 m³/s) и марту (127,3 m³/s) исте године. Током остатка истраживаног периода на ХС Корвинград потребно је издвојити март, април и јун 2020. године са просечним вредностима протицаја око 76,3 m³/s. Исти месеци издвојени су и на најнизводнијој станици на Јужној Морави (ХС Мојсиње), са максималном месечном вредношћу од 306,5 m³/s која је достигнута у јануару 2021. године. *Овакви подаци месечних протицаја могу довести до неколико хипотеза и закључака који ће се оспорити или потврдити након анализе дневних протицаја. Неуобичајено високе вредности јануарских месечних протицаја претпоставља се да су последица изразито јаког поводња који заједно са*

превременим отапањем снежног покривача доводи до пораста поменутих вредности. У том случају изразито повећање водостаја и протицаја у неколико дана може одредити висок јануарски средњемесечни протицај. За разлику од њега секундарни високи месечни протицаји карактеристични за март и април последица су појаве великих вода, отапања снежног покривача у високо-планинским пределима и пролећних падавина. У том случају, у читавом периоду јављају се виши дневни протицаји чијим се сумирањем добија висока вредност месечних протицаја. Иако су обе потенцијалне ситуације важне за динамику интензитета процеса ерозије обала, односно да тако дефинисане вредности протицаја утичу на деградирање обалских појасева меандара, **прва ситуација са појавом екстремних краткотрајних вредности има већи значај**. Из тог разлога потребно је детаљније испитати дневне протицаје и извршити корелацију према претходно квантификованим подацима о латералној миграцији и ерозији обала.



Сл. 106. Средњемесечни протицаји у периоду новембар 2019 – новембар 2021. године

У циљу утврђивања утицаја варијације хидролошких показатеља на установљени интензитет процеса ерозије обала, извршена је анализа њихове релације и зависности. Као зависни показатељи коришћени су интензитет ерозије обала (ha), просечна латерална миграција (m) и максимална латерална миграција (m) за све претходно дефинисане и одређене периоде. Као независна варијабла за исте периоде времена коришћен је податак о *средњем протицају*. Његова вредност добијена је на основу аритметичке средине дневних протицаја који су ушли у дати временски период. Поред тога извршена је и анализа односа параметра ерозије обала и броја водних дана. *Водни дан* дефинисан је као збир просечног протицаја за дати период и дуплиране стандардне девијације $Qsr + 2\sigma$. Резултати у виду исказаног коефицијента

корелације приложени су у Таб. 48, док су графички прилози математичке зависности интензитета ерозије обала у односу на просечну вредности протицаја представљени на Сл. 107.

Резултати указују на постојање веома снажне, снажне и умерене зависности свих параметара процеса ерозије обала у односу на просечну вредност протицаја. Група веома снажне зависности присутна је код М5 и М6 са вредностима коефицијента детерминације у домену од 0,81 до 0,99 (М5) и од 0,93 до 0,98 (М6). То имплицира на закључак да се увек преко 81% промена показатеља ерозије обала, максималне и просечне латералне миграције М5 и М6 може приписати варијацијама у средњем протицају истраживаних периода регистрованих на узводнијој ХС Грделица. Поред поменутих меандара веома снажна регресија регистрована је и код појединих показатеља других меандара: просечна латерална миграција М1 у односу на Q_{sr} регистрована на најближој ХС Мојсиње и параметар максималне латералне миграције М4 у односу на Q_{sr} узводнице ХС Корвинград.

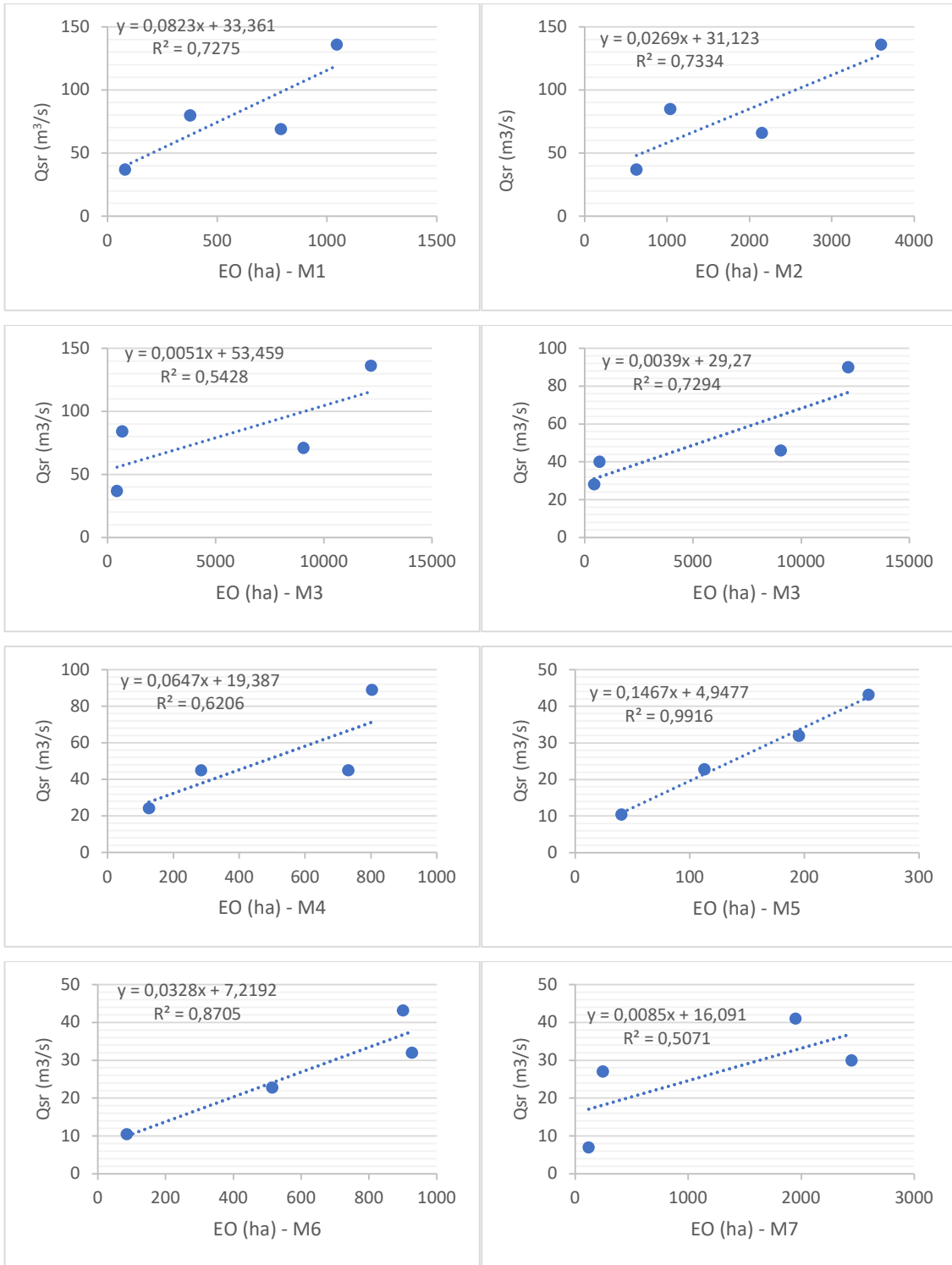
Таб. 48. Однос између параметара ерозије обала АЕ, M_{av} и M_{max} према одабраним хидролошким показатељима Q_{sr} и број водних дана

| Локације | X | Y | Q_{sr} (m ³ /s) | Број водних дана |
|----------|---------------|---|------------------------------|------------------|
| M1 | АЕ (ha) | | 0,72 | 0,58 |
| | M_{av} (m) | | 0,83 | 0,53 |
| | M_{max} (m) | | 0,73 | 0,42 |
| M2 | АЕ (ha) | | 0,73 | 0,62 |
| | M_{av} (m) | | 0,61 | 0,35 |
| | M_{max} (m) | | 0,58 | 0,37 |
| M3 | АЕ (ha) | | 0,72 | 0,37 |
| | M_{av} (m) | | 0,75 | 0,69 |
| | M_{max} (m) | | 0,55 | 0,41 |
| M4 | АЕ (ha) | | 0,62 | 0,41 |
| | M_{av} (m) | | 0,75 | 0,22 |
| | M_{max} (m) | | 0,9 | 0,42 |
| M5 | АЕ (ha) | | 0,99 | 0,81 |
| | M_{av} (m) | | 0,85 | 0,48 |
| | M_{max} (m) | | 0,81 | 0,4 |
| M6 | АЕ (ha) | | 0,93 | 0,87 |
| | M_{av} (m) | | 0,96 | 0,85 |
| | M_{max} (m) | | 0,9 | 0,91 |
| M7 | АЕ (ha) | | 0,57 | 0,15 |
| | M_{av} (m) | | 0,61 | 0,15 |
| | M_{max} (m) | | 0,61 | 0,15 |

АЕ – ерозија обала (ha); M_{av} (m) – просечно латерално померање; M_{max} (m) – максимално латерално померање; Q_{sr} – средњегодишњи протицај

Група снажне повезаности карактеристика је свих осталих индикатора процеса ерозије обала М1 (0,72-0,73), параметара просечне ерозије обала и просечног латералног померања М2, М3 и М4, као и оба показатеља у вези са латералним померањем тока М7. Претходни резултати потврђују да се између 60% и 80% промена варијабли у вези са интензитетом ерозије обала може приписати варијацијама дефинисаног хидролошког фактора. Група умерене зависности показатеља (0,4-0,6) карактерише вредности максималне латералне миграције М2 и М3 у односу на протицај добијен на ХС Мојсиње, али и интензитет ерозије обала М7 у односу на податке о средњем протицају ХС Грделица. Чињеница да у анализираној групи података нема регистрованога стања без корелације и зависности или стања са слабом корелацијом иде у прилог значају хидролошких фактора на процес интензитета ерозије обала. Сигнификантност резултата је нарочита уколико се узме у обзир да је проучаван однос са

најопштијим хидролошким параметром – средњим протицајем, који нема доминантну улогу у морфодинамици речних токова, што је објашњено претходно спроведеним анализама. Финално, може се констатовати да је веома снажан однос поменутих параметара забележен у 38,1% случајева, снажан однос у 47,6%, а умерено зависан однос у 14,3% испитиваних околности.



Сл. 107. Однос између Q_{sr} репрезентативних периода према интензитету ерозије обала

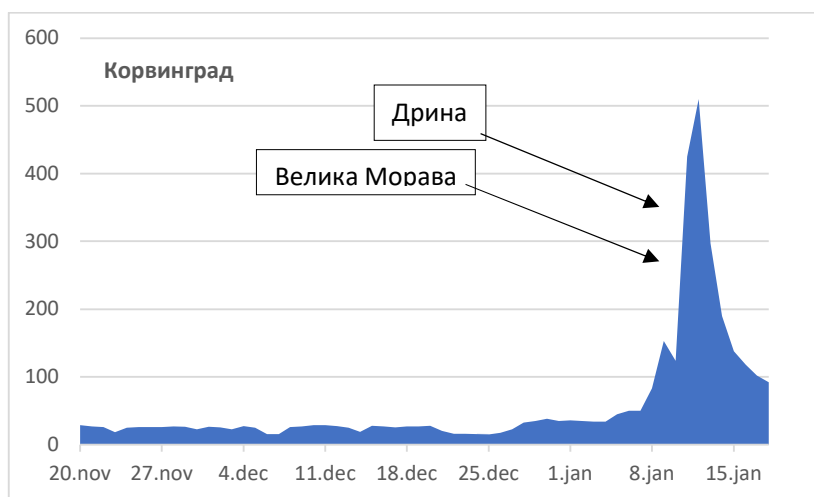
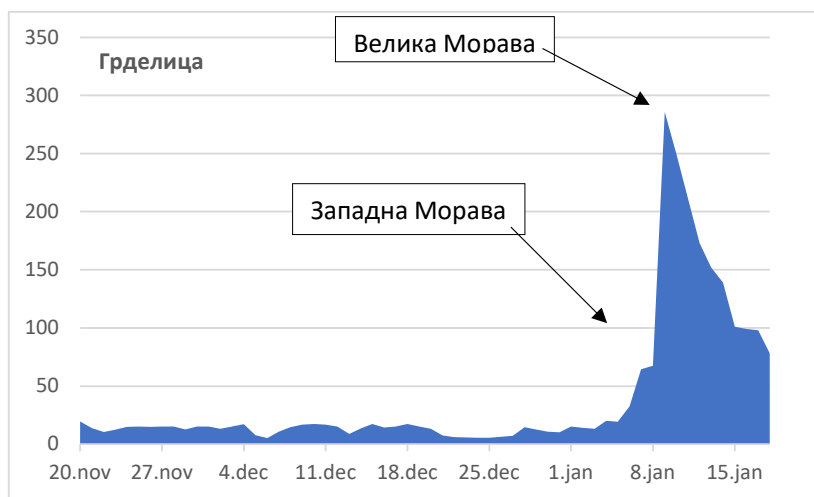
Међутим, да поменути показатељи нису увек меродаван репер процеса ерозије обала увиђа се у другом истраживаном примеру, односно броју водних дана. У том контексту може се приметити постојање веома снажне корелације у свега 19,04%, снажне у 9,5%, умерене 38,1%, слабе 19,2% и веома слабе у 14,2%. *Потребно је нагласити да овакви резултати нису неочекивани и да нужно не имплицирају на закључак да због високог удела веома слабе и слабе зависности хидролошки фактори нису најважнији за процес ерозије обала. Број водних дана у току одређеног временског периода може бити знатно виши, посебно у сезони појаве великих вода (нпр. 14 водних дана регистрованих на ХС Корвинград у четвртом истраживаном периоду). Ипак само је током једног од поменутих 14 дана достигнута вредност протицаја релативно близу нивоа Q_{bd} као и нивоа водостаја који упућује на редовну одбрану од поплава. Просечна вредност дневних протицаја регистрованих у издвојених 14 водних дана износи $183 \text{ m}^3/\text{s}$. На истом профилу током треће временске секвенце регистрован је мањи број водних дана (8), али је просечна дневна вредност протицаја скоро дупло виша у односу на четврти период – $321 \text{ m}^3/\text{s}$. Према томе, **постојање једног екстремног хидролошког случаја у серији података о протицају имаће јачу сигнификантност и зависност на интензитет процеса ерозије обала у односу на низ података високе водности у границама нормале.***

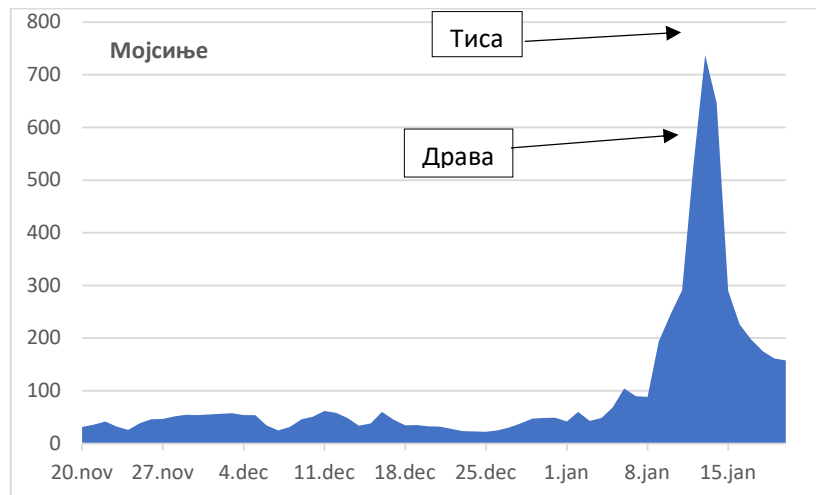
На Сл. 107 представљени су графички прилози статистичке зависности за седам проучаваних меандара у односу на податке о средњем протицају са дате истраживачке станице. За М3 на којем су регистроване највеће вредности ерозије и латералног померања тока извршено је проучавање у односу на најближу низводну (Мојсиње) и узводну (Корвинград) станицу за које постоје емпиријски подаци о дневним вредностима протицаја за дати период. Резултати су указали на већу линеарну зависност са подацима о Q_{sr} са узводне станице Корвинград (снажна повезаност, $R^2 = 0,72$) у односу на низводно Мојсиње (умерена повезаност, $R^2 = 0,54$).

Трећи истраживани период (новембар 2020 – март 2021. године) у свим примерима издвојен је као најинтензивнији по параметру ерозије обала. Претходним хидролошким анализама утврђен је и највиши средњи протицај у истом периоду на све три истраживачке станице, као и максимални јануарски месечни протицај у последњих пет година. Из тог разлога детаљније ће се објаснити који хидролошки екстрем је утицао на тако високе вредности протицаја. Прву фазу поменутог периода (од 20. новембра до 06. јануара) одликују просечно ниски протицаји карактеристични за новембар и децембар. Висока водност није регистрована, као ни неке специфичне осцилације ни на једној од истраживачких станица. Просечни месечни протицај у новембру ($33,1 \text{ m}^3/\text{s}$) и децембру ($41,3 \text{ m}^3/\text{s}$) на ХС Мојсиње имао је 20-30% ниже вредности од просечне годишње за 2020. годину ($59,6 \text{ m}^3/\text{s}$), а готово и 2,5 пута мање у односу на читав истраживани период ($91,5 \text{ m}^3/\text{s}$). Подударно стање у водности регистровано је и на друге две хидролошке станице, са нешто вишим вредностима новембарских протицаја на ХС Грделица.

Неколико интензивнијих падавинских дана за редом почетком јануара месеца 2021. године у коинциденцији са температурама вишим од 0°C (што је омогућило превремено отапање снега у сливовима највећих притока Јужне Мораве) покренули су јаку фазу поводња која је утицала на регистровање највиших јануарских протицаја у последњих 20 година. На експерименталној **кишној станици** постављеној у атару насеља **Велика Копашница** (у близини ХС Грделица) почев од 04. јануара до 12. јануара регистрована је постојана количина падавина са највећом дневном вредности од 67 mm која је забележена 11. јануара. Већински су падавине излучене у виду кише, али је било сегмената и са снежним падавинама. На другом **експерименталном кишомеру у атару насеља Разгојна** (код IV истраживаног сектора) регистроване су нешто ниже вредности падавина у периоду 06-11. јануара, са максимумом од 50 mm, такође 11. јануара. На обе станице је у поменутих данима падало више од 10 mm кишних и снежних падавина (осим 06. јануара). За девет дана пало је више од 170 mm падавина, што представља просек четири месеца вршећи компарацију са 97-годишњим проучавањем количине падавина на најближој метеоролошкој станици Лесковац.

Поменути метеоролошки услови покренули су бујичарске токове у сливовима Прешевске Моравице, Јабланице, Ветернице, Власине, Врле, Нишаве, Топоничке реке, итд. што је условило пораст водостаја и протицаја Јужне Мораве и достизања протицаја при пуном речном кориту. На ХС Грделица 11. јануара достигнут је екстремно висок средњи дневни протицај од 265 m³/s, што представља вредност вишу од претходно дефинисане вредности за протицај при потпуно испуњеном кориту. Наредног дана, 12. јануара, са вредношћу од 252 m³/s такође је регистрована изузетно висока вредност. Истог дана (11. јануара) регистрован је и апсолутни годишњи максимум од 340 m³/s. Тада је наступило изливање тока Јужне Мораве и плавлeње насеља Грделица и околних села, али и плавлeње низводних насеља Лесковачке котлине. На низводнијој ХС Корвинград дан касније у односу на ХС Грделица постигнут је максимални средњи дневни протицај у периоду истраживања од 510 m³/s, док је дан раније регистрован дневни протицај виши од 400 m³/s. Апсолутни дневни максимум износио је 666 m³/s. Реч је о вредностима и до девет пута вишим од просечне годишње за период 1924-2020. године. Пик воденог таласа на најнизовнијој ХС Мојсиње достигнут је у периоду 13-14. јануар 2021. године са вредношћу средњедневног протицаја од 737 m³/s, што такође представља праг близу нивоа протицаја при потпуно испуњеном речном кориту. Апсолутни максимум на ХС Мојсиње, достигнут 13. јануара у 23:00h износио је 810 m³/s. **Достигнут максимални протицај одликује се повратним периодом од 2 године и вероватноћом појаве од 50%.**





Сл. 108. Хидрограми дневних протицаја у периоду 20. новембар – 20. јануар

На хидрограмима приказаним на Сл. 108 у циљу указивања на значај поменутог екстремног хидролошког догађаја и ради компарације представљене су приближне вредности средњегодишњих протицаја познатих и већих река на њиховим најнизоднијим станицама. Битно је истаћи да је на ХС Мојсиње у пику таласа готово достигнут средњегодишњи протицај реке Тисе на ХС Нови Сланкамен ($848 \text{ m}^3/\text{s}$), реке која је четири пута дужа, чији је слив око десет пута већи и чија је вредност средњегодишњег протицаја у последњих 50 година и до 9 пута виша. На још екстремније стање указују подаци са ХС Грделица на којој је максимални дневни протицај у егалу са просечним годишњим протицајем Велике Мораве на ХС Љубичевски мост ($255 \text{ m}^3/\text{s}$). Реда величине просечни годишњи протицај Јужне Мораве на ХС Грделица износи $23,6 \text{ m}^3/\text{s}$, што значи да је реч о 11 пута већем протицају од поменутог.

Поставља се питање колико један или више дана са достигнутим нивоом протицаја при потпуно испуњеним кориту може имати утицаја не обалски појас реке? Интензивирање процеса ерозије обала наступа пре достизања максималног протицаја или bankfull discharge-a. Наиме, протицаји нижи и за $50 \text{ m}^3/\text{s}$ од дефинисаног хидролошког прага имају довољну снагу да поткопају и највише делове обале. Најрепрезентативнији репер еродибилности тока у условима екстремног протицаја је добијена вредност померања обала и губитак површине у истом периоду. Нпр. на М3 у периоду од 20. новембра 2020. до 08. марта 2021. године достигнут је највиши интензитет померања речних обала од чак $47,5 \text{ m}$. С обзиром на ниске водостаје током новембра и децембра, као и просечно водних фебруарских протицаја, може се закључити да су хидролошке прилике у периоду од 09-15. јануара биле пресудне за висок интензитет померања обала. Овакво стање још једном потврђује хипотезу да један или пар кратких екстремних хидролошких догађаја може покренути ерозију обала очекивану за вишегодишњи, па чак и деценијски период.

Истовремено, на М3 трајно је однето око $1,21 \text{ ha}$ углавном продуктивног пољопривредног или шумског земљишта. И на осталим секторима и меандрима максимални годишњи интензитет померања и ерозија обала регистрован је управо у овом периоду. О јачини поплавног таласа сведоче и две фотографије груписане под Сл. 109 забележене у дану када је достигнут максимум протицаја; прва локација, на $1,2 \text{ km}$ узводно од М4 на раскрсници путева који воде према Тешици, Доњој Трнави и Дражевцу удаљена је готово километар од речног корита Јужне Мораве, што указује на широко плавлеење алувијалне равни; друга локација, неколико километара узводно од М1 указује на чињеницу да је вода Јужне Мораве стигла до ауто-пута Београд – Ниш, који је на удаљеност од око $1,5 \text{ km}$ од корита реке.

Поред директних последица које се огледају у моменталном деградирању обала и њеном бочном померању, утицај јаког хидролошког таласа огледа се и у накнадном урушавању обале која је подривена претходним таласом. Наиме, након смањења водостаја и протицајне моћи

реке, деградирана обала остаје нестабилна и мање конзистентна због натапања водом која се изливала, па се то огледа у чињеници да је и протицајни таласи мање разорне моћи могу додатно деградирати.



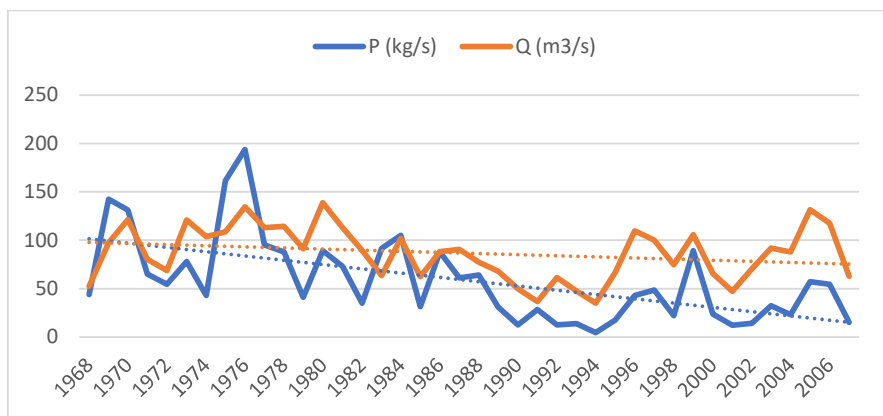
Сл. 109. Поплава Јужне Мораве (13. јануар 2021. године) - поплављене пољопривредне површине дуж пута Доња Трнава – Тешица (слика лево) (13:53h) и код насеља Алексиначки Бујмир (слика десно) (12:10h)
(Извор: Аутор)

8.3. Транспорт речног наноса

Процес ерозије обала својим интензитетом и дејством на обалски појас, утиче на модификовање режима наноса одређеног речног тока низводно од локације деградираних обала. Са друге стране, количина и транспорт речног наноса у узводном делу слива може имати утицај на интензитет процеса ерозије обала и акумулације. Иако већину речног наноса у рекама чине седименти доспели из виших делова слива, током екстремних хидролошких догађаја велики допринос укупном проносу наноса даје и речни нанос настао процесом ерозије обала. Morrissey и сар. (2009) су указали да проценат седимената доспелих дејством проучаваног процеса може варирати од ниских вредности (0-5%) до чак 64%. Фактор који доприноси већој подложности обале на ерозивне процесе је текстура обалског земљишта. Обала састављена претежно од силта и глине највише је подложна ерозији. У том контексту, неопходно је сагледати и локалне климатске услове попут температуре и влажности приземног слоја ваздуха који имају знатне утицаје на смањење стабилности обале (Shu et al., 2019).

Са аспекта ерозије земљишта, продукције и транспорта речног наноса, слив Јужне Мораве спада у најспецифичније примере у Србији. Ракићевић (1969) је објаснио да постоји интензивна ерозија у сливу Јужне Мораве, али и дуж деградираних обала тока. Напоменуо је и да Велика Морава годишње уноси у Дунав 13,3 милиона тона речног наноса од којег око 60% долази из слива Јужне Мораве. На основу анализе карте ерозије у сливу Јужне Мораве (без дела који је лоциран на територији Бугарске и Северне Македоније) (Petković 1995; Костадинов и сар., 2019) утврђено је да се подручја експесивне и јаке ерозије јављају дуж тока Јужне Мораве на простору Грделичке клисуре и деоници тока између Бујановца и Врањске бање (Борисављевић & Костадинов, 2012). Категорија екстензивне ерозије карактерише горњи део слива Врањскобањске реке (Новковић, 2016), слив Власине и Јерме и простор Сићевачке клисуре. Категорија јаке ерозије карактеристична је за остале планинске сливове, посебно у изворишним деловима Биначке Мораве, горњим деловима слива Ветернице и Јабланице и у сливу Височице (Petković 1995; Костадинов и сар., 2019). Поменуто подручја су уједно и највећи „дистрибутери“ наноса који се транспортује главним током и притокама Јужне Мораве.

Транспорт лебдећег наноса је врло варијабилан показатељ који зависи од читавог низа фактора, од којих се пре свега истиче протицај реке. Ранијим истраживањима на примерима слива Колубаре (Драгићевић и сар., 2015), Велике Мораве (Mustafić et al., 2014) и Нишаве (Mustafić, 2012), утврђена је висока линеарна зависност транспорта речног наноса у односу на протицај реке. Стога је у овом сегменту извршена анализа и кратак осврт на тренд средњегодишњих вредности проноса суспендованог наноса у циљу детерминисања присутне динамике у сливу, односно да ли се посматрајући истраживани период вредност повећава, смањује, стагнира или мења без одређених правила. Као доступни и адекватни подаци коришћени су они регистровани на хидролошкој станици Мојсиње за период 1967-2007. године.



Сл. 110. Средњегодишње варијације транспорта суспендованог наноса (kg/s) према средњегодишњем протицају (m³/s) у периоду 1967-2007. године

На основу добијених резултата (Сл. 110) можемо закључити да је постојан сигнификантан негативни тренд вредности транспорта речног наноса регистрован на најнизводнијој станици Мојсиње. Вредност опадајућег тренда на основу МК теста износила је -3,75 што означава високо сигнификантни тренд у интервалу поверења од 95%. За разлику од показатеља транспорта наноса, средњегодишњи протицај у истом периоду бележи умерено значајни пад са вредношћу тренда од -1,76. Према томе, у периоду 1967-2007. године просечни годишњи губитак количине воде износио је 0,71 m³/s, док је губитак наноса износио 1,91 kg/s. Иако је регистрована умерена регресивна зависност променљиве проноса речног наноса у односу на независну променљиву протицај реке (0,51) и висок коефицијент корелације (0,71) можемо увидети да протицај није једини фактор који директно утиче на смањење транспорта речног наноса.

Анализирајући месечне вредности долази се до сличних законитости као и код анализе средњих месечних вредности протицаја. Највећи интензитет транспорта речног наноса регистрован је током априла (127,5 kg/s), док се секундарни максимум јавља у марту (85,1 kg/s). Минималне средњемесечне вредности карактеристичне су за крај лета (септембар – 3,1 kg/s, август – 4,9 kg/s) и јесен (октобар – 5,3 kg/s).

С обзиром на раније поменуте и објашњене антиерозивне радове који су углавном спроведени у периоду за које постоје подаци о транспорту наноса, јасно се може објаснити интензиван пад тренда вредности овог показатеља. Такође, у истом периоду у планинским деловима слива Нишаве и Лужне Мораве извршена је трансформација у начину коришћења земљишта која се огледа у развијеном процесу деаграризације и напуштању обрадивих површина, као последица популационог изумирања насеља (Mustafić et al., 2014). Овакве промене у локалним речним сливовима су се одразиле на продукцију речног наноса, а последице се осећају и на најнизовнијој активној хидролошкој станици целог слива. Оно што је потребно нагласити је да изразито опадајућем тренду доприноси и период 1990-их и почетка 2000-их година који је ушао у претходни прорачун, а који је раније идентификован као посебно сушни, са малим

вредностима протицаја. Такав тренд се пренео и на транспорт лебдећег наноса јер су управо најниже годишње вредности регистроване 1994. године (4,44 kg/s), 1992. године (12,1 kg/s) и 2001. године (12,1 kg/s). Период након 2007. године карактерише се повећањем средње вредности протицаја и више година које су класификоване као водне или веома водне, те би негативан тренд транспорта речног наноса био умањен да постоји пун низ података до 2020. године.

Поставља се питање колико је установљени опадајући тренд транспорта речног наноса Јужне Мораве имао ефекта на процес ерозије обала? Квантитативно детерминисање утицаја проноса наноса није могуће реализовати због недостатка одговарајућих података којима би се могла утврдити међусобна зависност параметара ерозије обала са транспортом речног наноса. Ипак, након поређења количине транспортованих седимената у периодима 1970-1988. и 1989-2000. године долази се до закључка да је вредност у првој временској секвенци (83,5 kg/s) виша за чак 66,3% у односу на период 1989-2000. године (28,8 kg/s). Према томе, дејство извршених антиерозивних радова у сливу се најбоље манифестује у првим декадама након њихове примене. *Иако је за поменуте периоде, а посебно 1989-2000. годину карактеристичан пад у тренду интензитета процеса ерозије обала и акреације речног наноса, у њиховом међусобном односу преовладава вредност акумулације. Конвексне стране проучаваних меандара, одликују се високим степеном синусоидности, плитким и широким коритом и тиме представљају подручја постојане и константне акумулације седимената доспелих из узводних делова слива Јужне Мораве. Стога, и при смањеном интензитету процеса ерозије обала, одржавање спрудних формације омогућава речни нанос транспортован реком из горњих делова слива.*

8.4. Утицај вегетационог покривача на интензитет процеса ерозије обала

С обзиром на раније указани значај постојања густог и компактног вегетационог покривача за процес ерозије обала Јужне Мораве, на основу доступних сателитских снимака и директних теренских опсервација, утврђени су доминантни типови вегетације на референтним секторима. Вегетационе и биогеографске карактеристике обалског појаса Јужне Мораве умногоме доприносе његовој стабилизацији, што се увиђа кроз ефекат дејства истог хидролошког екстрема на део обалског појаса прекривеног густом вегетацијом, за разлику од сегмента на којем доминирају ниско и проређено растиње. У том домену извршиће се кратка анализа типова и основних карактеристика одређених зона вегетације сваког од репрезентативних меандара у циљу што концизнијег приказивања утицаја овог фактора на процес ерозије обала. Конекција између ерозије обала и вегетације је комплексна и одликује се бројним међусобним интеракцијама и у временском домену (вегетација се мења током године) и у просторном домену (вегетација се мења дуж речног тока) (Bull, 1997; Peacher, 2011; Camporeale et al., 2013; Horton, 2017; Seele-Dilbat et al., 2022).

Основни циљ овог сегмента рада састоји се у детерминисању постојећег стања приобаља и приобалног екосистема. Као важне одреднице које ће бити укључене у анализу су: тип, животна форма биљке, висина, процењена дубина кореновог система и покривеност истраживане површине. Peacher (2011) наводи да је основна улога корења да подупре надземне компоненте биљке, а на тај начин производе ојачану матрицу (у овом случају обалу). Супротно томе, густа вегетација и тешка стабла понекад могу имати неповољни ефекат на високе деградирани обале, будући да преоптерећење на обали може смањити њену стабилност и појачати процес деградације. Велики значај приликом истраживања одређених параметара вегетације омогућили су формирано ортофото и DSM прикази (на основу извршених снимања терена) који могу исказати вредност висине доминантне групе вегетације.

Посматрано у ширем контексту, *вегетациони покривач приобаља Јужне Мораве* одликује се смењивањем брзорастућих и деградираних биљних врста специфичних за шумске заједнице алувијалних равни река. У биогеографском погледу, подручје припада „*мезијској биљногеографској провинцији, односно балканском флорном елементу*“ (Петковић & Обрадов-

Петковић, 2005). Сама обалска вегетација и њена дисперзија под директним је утицајем процеса латералног померања тока, као и варијацијама у висини водостаја и вредностима протицаја (Langović, 2020). Према томе, постоји међусобна условљеност фактора ерозије обала и вегетације – док са једне стране тип, старост и основне вегетацијске карактеристике биљног покривача стабилизују обалу од интензивног процеса ерозије, исти процес утиче на смену одговарајућих типова процесом деградације обала.

Петковић & Обрадов-Петковић (2005) су дуж приобаља Јужне Мораве регистровали укупно постојање 102 биљне врсте из 39 фамилија. Најраширенији род у вегетацијском смислу је род топола (*Populus*) и род врба (*Salix*), типични представници влажних подручја низијских река. Станишта заједнице беле врбе (*Salix alba*) и беле тополе (*Populus alba*) настањују подручја сва четири проучавана сектора. Стабла беле тополе су посебно доминантна, висине и до 40 m, дубоког кореновог система што условљава њихов значајан удео у стабилизацији обале. На основу прегледања ортофото снимака и теренског истраживања може се закључити да ова заједница даје најзначајније обележје читавом истраживаном подручју. Заједница беле врбе насељава простор ближе самој обалској линији, мањих је висина, али разгранатије крошње у односу на тополу. Такође, присуство беле врбе карактеристичније је за ниже деградирани обале или конвексне обале меандара. Waldron (1977) је утврдио да зрело земљиште под врбама може пружити 100% више у стабилизацији обала.

Од дрвенасте животне форме на првом истраживаном сектору су поред поменутих састојина присутни и значајни примерци врста багрема (*Robinia pseudoaccacia*), црне тополе (*Populus nigra*), као и ливадског јавора (*Acer campestre*). На другом истраживаном сектору распрострањене су и састојине белог бреста (*Ulmus laevis*) и црне јове (*Alnus glutinosa*), такође честе врсте станишта обалских појаса нормалних речних долина. Трећи истраживачки сектор одликује се знатном доминацијом дрвенастих врста дуж обалског појаса, од којих се поред топола и врба јављају и храст лужњак (*Quercus robur*), док се сличним карактеристикама одликује и последњи сектор са нешто већим уделом врсте багрема (посебно у сектору ушћа реке Јабланице).

Жбунаста животна форма широко је распрострањена на простору истраживаних сектора. Разлике између појединих жбунастих врста и њиховог распрострањена на простору сектора није уочена. Међутим, на основу литературних извора и теренских истраживања могуће је издвојити најчешће жбунасте врсте које насељавају овај простор: бадемаста врба (*Salix triandra*), плава купина (*Rubus caesius*), коприва (*Urtica dioica*), павит (*Clematis vitalba*), багренац (*Amorpha fruticosa*), авдика (*Sambucus ebulus*), ракита (*Salix purpurea*), бели глог (*Crataegus monogyna*). Приземни слој вегетације чини зељасте форме која има значајно распрострањене на простору деградираних обала прва два меандра. Реч је, између осталог, и о површинама које су биле приведене пољопривредној култури, али које су запуштене због одлуке становништва о необрађивању поменутих поља, подстакнути чињеницом да ће уз интензиван процес ерозије обала бити деградирани у скорије време. То је омогућило проширење типа зељасте вегетације која углавном обухвата наредне врсте: броћика (*Galium aparine*), водена паприка (*Polygonum hidropiper*), боквица (*Plantago major*), дивља мрква (*Daucus carota*), црвена коприва (*Lamium purpureum*), звездан (*Lotus corniculatus*), водена дрезга (*Sium latifolium*), сумрекаста млечика (*Euphorbia cyparissias*), козји рогови (*Bidens tripartitus*), итд, што је у делимично измењеном и ширем обиму приметио и Петковић & Обрадов-Петковић (2005) проучавајући овај простор.

Даља анализа утицаја вегетационог покривача на интензитет процеса ерозије обала сагледаће се кроз индивидуалне примере најкарактеристичнијих од репрезентативних меандара. На основу резултата спроведеног теренског истраживања може се извршити генерализација на обалске појасеве сличних вегетацијских карактеристика. Из тог разлога није потребно индивидуално и понаособ обрађивати целе дужине свих посматраних обала.

Директни утицај вегетације на стабилизацију обалске линије најрепрезентативније се може уочити посматрањем М4 на истраживачком сектору III. На основу претходно анализираних резултата о латералном померању тока и ерозији обала у периоду експерименталних истраживања (новембар 2019 – новембар 2021) могу се уочити одређене законитости. Иако је интензитет померања М4 током 97 година истраживања био висок, запажа се стагнирање процеса у последњих 20 година о чему говоре и вредности максималне и просечне миграције. *С обзиром да је у истом периоду на другим меандрима регистрован интензиван процес ерозије обала, а и претходно утврђене чињенице о постојању екстремних хидролошких вредности у датом периоду, може се констатовати да други фактор има значајног утицаја на стабилизацију обале.* На Сл. 111 представљен је М4 у новембру 2020. године са назначеним положајем обалске линије у том временском пресеку и годину дана касније. На основу израчунатих вредности интензитета латералног померања добијене су изузетно ниске вредности на профилима 4, 5, 7, 9 и 11 у просеку 0,66 m у периоду од годину дана. Насупрот њима, на профилима 1, 2 и 3 регистрована је просечна вредност померања од 6,38 m/год. Управо се овде може увидети значајан фактор вегетације на локално напредовање процеса ерозије обала. Поменути профили са ниском стопом интензитета налазе се на Сл. 111 у оквиру кругова који указују на веће присуство дрвенасте вегетације. *Стога, процес ерозије обала успорен је и не напредује симетрично на једном истом меандру под утицајем вегетације дубљег кореновог система.*

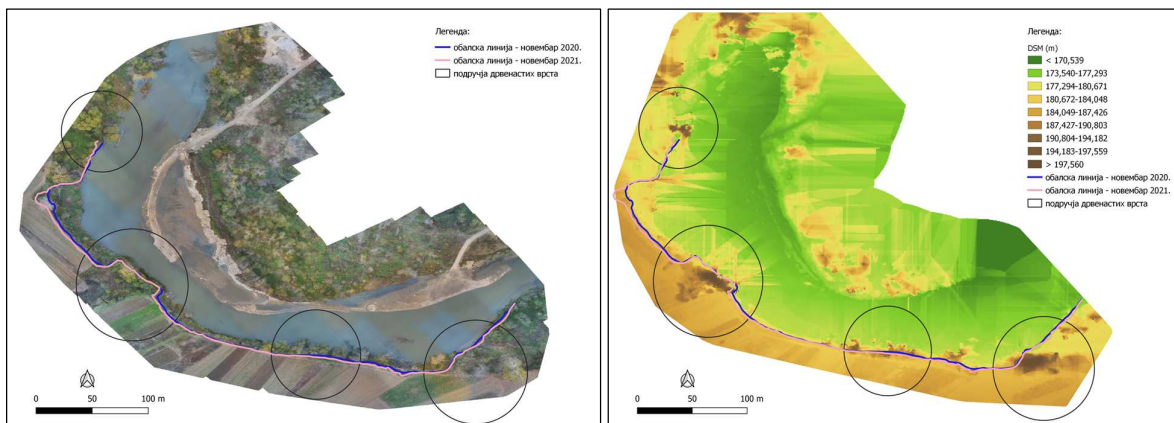
Ипак, након екстремнијих хидролошких прилика (попут оне из јануара 2021. године) смањеним интензитетом бивају деградирани и обале прекривене шумском вегетацијом. Због саме дрвне масе и обима стабла и грана приобалних врста белих топола, њихови деградирани остаци често остају испред конкавне обале добијајући нову функцију. *Чак и у таквом стању оне својом „гомиллом“ утичу на снижавање разорне моћи протицаја чиме настављају да штите обалу од процеса ерозије* (Сл. 112). За разлику од таквих обала, обалски појас прекривен зељастом вегетацијом и обрадивим површинама (профили 2 и 3) бивају лако деградирани, а материјал са њих наталожен на конвексној страни меандра у виду спруда.

На основу представљених снимака можемо видети последњи обрис некадашњег шумског појаса дуж конкавне обале М4 који штити наступајућу зону ораничних површина (профили 5-11). Квантификацијом података о висини вегетације можемо уочити да су дрвенасте врсте у просеку високе око 17,3 m (централни и узводнији део меандра), односно око 10 m (низводнији део). Остатак се састоји од земљишта покривеног усевима пшенице и кукуруза, док се тампон зона између одликује нижом жбунастом вегетацијом до једног метра висине. Овакав распоред вегетације на деградираној обали М4 има позитивне ефекте на смањење интензитета процеса ерозије обала. Док би хидролошки таласи мањег обима лако еродирали обалу без поменуте тампон зоне, у овом случају је то смањено. Истраживањем је процењено да је нпр. дебљина корења на самој обалској линији око 15-25 cm (за жбунасте врсте) и око 100-120 cm (за дрвенасте врсте). Након тога следи појас зељасте вегетације и појас пољопривредних површина у којима доминирају врло кратки и једноставни коренови системи (до 10 cm дужине).

Иако се у рецентним оквирима М4 одликује једним од најнижих интензитета ерозије обала и померања тока, на основу положаја и претходно истакнутих карактеристика он може представљати посебно латерално нестабилни предео у будућности. *Након деградираних остатака шумског појаса, без примене одговарајућих антропогенних или биотехничких мера заштите уследиће интензификација поменутих процеса што може имати сигнификантне социо-економске последице по становнике насеља Велики Дреновац и Грејач.*

На осталим меандрима такође су постојане специфичности по типу вегетације који је доминантан. Генерално, меандри на којима је утврђен највећи интензитет процеса ерозије обала (М2, М3, М7) највећим делом су прекривени ниским вегетационим покривачем. Утицај вегетације се посебно запажа и код М3 где је у узводном делу сектора карактеристичан и до

80% мањи интензитет ерозије обала. То се може видети на Сл. 67 на профилима 19-26 где су обале обрасте густом жбунасто-дрвенастом вегетацијом обалског појаса. Посебно је интересантан пример профила 23 и 24 где је једино постојан интензивнији облик процеса ерозије обала (8,1 и 12,4 m у периоду од две године). *Зашто? На дужини узводног сектора М3 од готово 700 m једино је на потезу поменути два профила постојана ливадско-пашњачка ниска вегетација, те су процесом ерозије обала формиране високе деградиране обале. Према томе, процес ерозије обала достиже максималне вредности само у случају повољног хидролошког догађаја, али и одговарајућих вегетацијских карактеристика.*



Сл. 111. Ортофото снимак (лево) и DSM приказ М4 (десно) у новембру 2020. године са назначеним сегментима појаве високих дрвенастих врста



Сл. 112. Пример деградиране обале М4 у уском сегменту прекривена дрвенастом вегетацијом са формираним „гомилама“ који настављају да штите обалу (лево) и тип деградиране обале прекривене зељастом вегетацијом и ораничним површинама (десно)

У наставку рада биће истакнут још један важан аспект **утицаја вегетације у ерозивно-акумулационом систему** процеса латералног померања речног тока. На новоформираним спрудовима конвексних страна постепено се јавља ниска обалска вегетација (углавном коровских и дисперзионо доминантних врста биљака) формирајући бусенасте формације у којима се тешко могу развијати друге биљне врсте. То је условљено честим плављењем спруда, односно ниски спрудови бивају испод воде при сваком повећању водостаја, па само биљке навикнуте на акватичне услове могу опстати. Међутим, током морфодинамичког развоја меандара током 20. века формиран су велики простори новог земљишта од некадашњих спрудова. У том контексту потребно је направити разлику између природног и антропогеног поступка обрастања спруда и формирања новог земљишта. Пример спруда у којем се види постепено сукцесивно настањивање вегетације представља онај формиран у конвексном делу меандра 2. Спрудови у меандарској кривини остају видљиви у пејзажу у виду гребена или

таласа. Захваљујући постојању ортофото снимака из више појединачних година могуће је сагледати поменути процес. На Сл. 113гл приказан је положај десног спруда М2 2003. године док означена линија представља границу до које је извршен иницијални поступак педогенезе и ширења иницијалне вегетације. На истом приказу могуће је на основу обриса шумско-жбунасте вегетације сагледати и раније померање М2, што је доказано и претходним истраживањима.

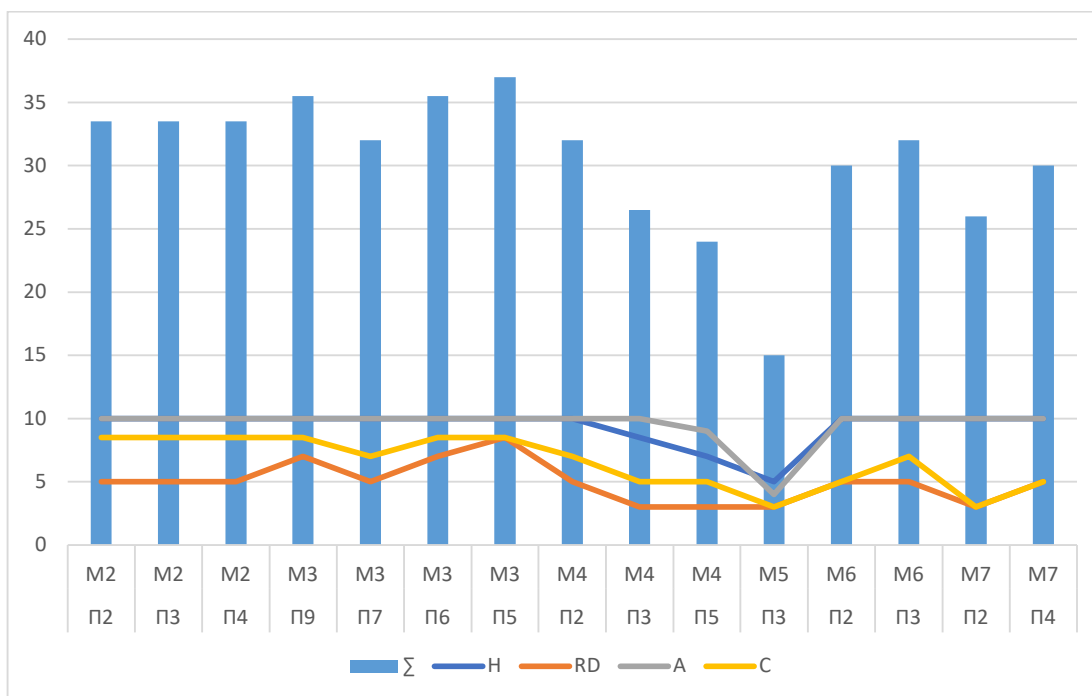


Сл. 113. Фазе сукцесивног ширења вегетације по спруду конвексне обале М2: прва фаза 2003. године (ГЛ); друга фаза 2016. године (ГД); трећа фаза 2018. године (ДЛ); четврта фаза 2021. године (ДД)

Посматрајући Сл. 113гд може се уочити значајан раст површине под вегетационим покривачем, односно максимално увећање износило је 59,2 m за 14 година (2003-2016). У квалитативном смислу могуће је сагледати одређене разлике у типу вегетације – претходни појас у којем су доминантне биле ниске биљне врсте 2016. године је обрастао густом жбунастом вегетацијом. Две године касније настављено је како ширење спрудне површине, тако и повећавање појаса под вегетацијом максимално и за 40,2 m (Сл. 113дл). У периоду 2018-2021. (Сл. 113дд) године појас обалске вегетације нарастао је за још 35,6 m. На основу оваквих резултата може се констатовати да је интензитет процеса „затрављивања“ спрудова врло динамичан. Међутим, иако се нове површине обрасте вегетацијом стварају истовремено са губитком земљишта процесом ерозије обала, бонитетна вредност новоформираног земљишта је веома ниска и без антропогених фактора неупотребљива. Различитим видовима мелиорације могуће је антропогеним путем спруд привести култури, поправљањем квалитета, као и физичких и хемијских особина земљишта. Управо је такав поступак примењен на примеру великог спруда истраживачког сектора IV, што је раније поменуто.

Један од показатеља који ће бити примењен у циљу сагледавања стабилности и отпорности обала на процес ерозије је **индекс хазарда померања обала** или ВЕНИ индекс. За потребе његовог израчунања на примеру седам истраживаних меандара коришћене су следеће варијабле: висина обале, дубина кореновог система, густина корења, нагиб и покривеност вегетацијом. Њихове вредности израчунате су на основу теренских истраживања и формираних снимака за потребе ове дисертације.

Прва квантификована варијабла висина обале показала је одређену различитост у зависности од сектора. Распон висине обале и од неколико cm може имати удела у оцини њихове стабилности. Висина деградираних обала се креће у распону од 2,3 m (M5) до 6,15 m (M2). Друга варијабла подразумевала је процентуални однос дубине кореновог система према висини обале. У том контексту, што мања процентуална вредност то већа нестабилност обале. Добијени резултати су указали на највише вредности овог показатеља на профилима M4 и M5, док су на осталим профилима регистроване ниске вредности. Густина кореновог система је такође важан вегетацијски фактор стабилности обале. Постојање густог и дубоког кореновог система дрвенасте и жбунасте вегетације утиче на јачање кохезије обалског појаса. Супротно томе, смањена густина коренових система утиче на повећање еродибилне изложености обале. Вредности нагиба обале процењене су на основу теренског истраживања и, на конто раније утврђених високих и деградираних обала, не изненађује значајана вредност индекса. На основу постојећих вредности извршена је класификација обала на оне са екстремном, веома високом, високом и умереном предиспонираношћу за процес ерозије обала.



Сл. 114. Резултати примењеног ВЕНИ индекса

(Σ - сума; H – вредност висине обале; RD – вредност дубине кореновог система; A – вредност нагиба обале; C – вредност покривености обалског појаса вегетацијом)

Резултати прорачунатог индекса (Сл. 114) упућују на постојање деоница који су на основу вегетацијских и морфометријских услова екстремно предиспониране за процес ерозије обала. Свакако, потребно је нагласити да је за потребе овог истраживања у оптицај ушло 15 карактеристичних профила размештених по меандрима 2-7. На основу добијених резултата, посебно се издваја M3 где је на три од четири експериментална профила добијена вредност виша од 35 што означава екстремну предиспонираност. Уједно је реч о једином меандру где је заступљена последња категорија подложности. Најдоминантнија категорија на свим секторима је веома висока (30-35) која је постојана у више од половине профила (53,3%). Посебно је изражена дуж M2 и M6 где захвата највећи део њихове дужине. Са истим уделом као и екстремна заступљена је и наредна нижа категорија описана као висока предиспонираност (20%) нарочито карактеристична за M4 и M7. На деоници M5 на једином истраживачком профили (П3) регистрована је вредност од 15 што означава умерену предиспонираност терена на процес ерозије обала.

Добијени резултати су највећим делом у балансу са претходно добијеним вредностима интензитета процеса латералног померања и ерозије обала са нешто мањим одступањима запаженим код Мб. Наиме, иако је примењеном методом окарактерисан као високо предиспониран за процес ерозије обала, нису запажене високе вредности интензитета процеса. Таква чињеница упућује на закључак да у овом случају одсуство вегетационог покривача не представља главни фактор стабилности обале.

9. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Актуелност и комплексност проблематике интегралног јединства физичко-географских процеса са једне и антропогених активности са друге стране све више је изражена у теоријским и практичним научно-стручним круговима. Деценијско нарушавање природне средине и њено интензивно коришћење оставља бројне последице на географски простор на почетку 21. века. У том јединству посебно се могу издвојити бројни хидролошки и геоморфолошки процеси. Флувијални процес представља континуирану, увек постојану и значајну компоненту географских система. Исти се испољава дејством процеса латералног померања речног корита са своје две главне компоненте – ерозијом обала коју врши са конкавне или спољне стране меандра и акумулацијом еродираниог материјала са конвексне или унутрашње стране. Ова два саставна елемента утичу на постојање динамичке равнотеже која диктира интензитет флувијалног процеса. У фазама када је под утицајем различите групе фактора поменути баланс нарушен, почиње интензивирање поменутих компоненти. С тим у вези јављају се бројни проблеми праћени трансформацијом простора алувијалне равни.

Основни циљ докторске дисертације био је у вези са детаљним утврђивањем просторно-временске динамике процеса ерозије обала на примеру одабраног речног тока - Јужне Мораве. Избор територијалног оквира истраживања детерминисан је на основу претходних студија и неколико постојаних чињеница о самом водотоку. Пре свега, слив Јужне Мораве одликује се комплексном геолошком грађом и сложеним геотектонским карактеристикама, специфичним карактеристикама рељефа и обухватом целина од високих планина до котлинских и низијских терена дуж самог тока. Осим тога, неуједначен речни режим током године и у вишегодишњем периоду, постојање категорија ексцесивне, врло јаке и јаке ерозије у сливу Јужне Мораве, значајна концентрација становништва и њихових активности дуж тока учинили су простор погодном базом за географска испитивања интензитета, узрока и последица процеса ерозије обала.

Иако комплексност проблематике ерозије обала и латералног померања изучавају бројне научне дисциплине са различитих аспеката, за потребе дефинисаног предмета и циља дисертације просторно-временски аспект, као и морфолошка еволуција обалских линија у одређеним временским пресецима чине срж примене географског концепта истраживања. Осим тога, детерминација и корелација основних узрока и последица према добијеним вредностима више одабраних показатеља представљао је веома важан задатак спроведеног истраживања. О томе сведочи велики број географских фактора који узрокују и модификују процес ерозије обала, који вредностима својих основних и специфичних параметара (нпр. протикај, количина и интензитет падавина, тип вегетације) условљавају и модификују интензитет процеса. Са друге стране, значајне последице које процес има на животно и природно окружење алувијалне равни реке, условљава њихову класификацију и обраду са крајњим циљем дефинисања најадекватнијих и најоптималнијих мера.

Рад на изради дисертације био је подељен у неколико фаза кроз које су добијени одређени резултати истраживања. *Прва фаза* укључила је прикупљање, преглед и интерпретацију широког спектра домаће и стране стручно-научне литературе усмерене према предмету истраживања у циљу дефинисања теоријско-методолошке основе дисертације. На овај начин обрађена су прва два поглавља која укључују терминолошко дефинисање основних појмова и теоријски концепт изучавања процеса ерозије обала. Наредна фаза је у вези са прикупљањем и обрадом картографске грађе која укључује топографске карте, историјске мапе и сателитске снимке из различитих временских периода. Обрада овог сегмента била је од посебне битности за касније сагледавање морфо-еволутивних карактеристика и просторно-временске варијације обалских линија током 20. и почетком 21. века. Доступношћу и адекватношћу претходно споменутих извора стечена је основа за *дефинисање временског оквира* истраживања и идентификовано је осам базних временских пресека: 1924., 1938., 1960., 1969., 1988., 2000.,

2010. и 2020. године. Посебно је наглашен период последњих 20 година коришћењем могућности прегледања ортофото снимака према појединачним годинама.

Након дефинисања временске компоненте уследило је идентификовање друге важне димензије истраживања – *просторног обухвата*. Након детаљног сагледавања тока Јужне Мораве од места спајања Биначке Мораве и Прешевске Моравице до Сталаћа у дужини од 229 km (према стању из 2021. године) уочено је латерално померање и појава деградираних обала на више локација. На основу дефинисаних критеријума (постојан интензитет, значај за научно-истраживање, локални физичко-географски услови, одсуство директних регулација и приступачност) извршен је одабир четири референтна сектора (седам меандара) на којима су вршена сва даља истраживања. Њихове локације и карактеристике су детаљно описане у циљу стицања увида и каснијег повезивања са утврђеним узроцима и последицама процеса ерозије обала.

У поглављу *Методологија истраживања* системски и по етапама представљен је основни методолошки концепт коришћен током израде дисертације, заснован на принципу дедукције. Прво су идентификоване методе коришћене за добијање адекватних података, а затим редом за квантификовање процеса ерозије обала, методе за изучавање последица и методе за проучавање узрока. У том сегменту детаљно су представљене све етапе теренског истраживања које укључује примену даљинске детекције у циљу проучавања рецентних морфолошких промена обала Јужне Мораве (новембар 2019 – новембар 2021). Ту су инкорпорирани фази од првог изласка на терен и постављања референтних тачака, свих пет снимања, једно (шесто) контролно снимање, као и каснија обрада добијених снимака, формирање ортофото снимака и дигитализација обалских линија. Овај сегмент дисертације представља срж истраживања, јер се тиме добија на њеној оригиналности и резултатима проистеклим из самостално обављеног истраживања. Након тога уследило је представљање резултата истраживања по истом принципу од интергодишњих до сезонских и интрагодишњих варијација.

Добијени резултати указали су на појаву врло интензивне просторно-временске динамике процеса ерозије обала на простору сва четири истраживачка сектора. О томе сведоче квантификоване вредности показатеља максималне латералне миграције, просечне максималне латералне миграције, области ерозије и области акумулације у току дефинисаног временског оквира од 97 година. Истраживачки сектор I показао је висок степен померања обала нарочито током 1960-их година са регистрованом вредношћу просечног максималног латералног померања од **15 m/год**, као и у периоду 2011-2020. године са **11,9 m/год**. M2 диференциран је од иницијалне године, док је динамику M1 могуће сагледавати тек од 1970. године. Интервал његове највеће миграторне активности је 2001-2010. година са **10 m/год**. Резултати интрагодишњих истраживања у периоду 2003-2021. године указали су на значај појединих година за високе вредности интензитета са посебним нагласком на период 2018/17. када је регистровано рекордних **24 m/год** померања обала. У корелацији са добијеним резултатима су и варијације основних геометријских показатеља меандра који укључују измене у максималној и просечној ширини речног тока, дужини централне линије и индекса синусоидности. Корелација је утврђена и представљена коришћењем корелационих матрица на основу које је утврђен распон коефицијента од 0,88 до 0,99 (висока корелација). M3 одликује се највећим обимом латералне миграције о чему сведочи добијени податак од **6,9 m/год** за период од 97 година (у периоду 1961-1969. чак **29 m/год**).

У истом периоду и M4 одликује значајан степен латералног померања обала, са поновним максимумом у периоду 1961-1969. године, али за разлику од претходних изостаје секундарно повећање интензитета током савременог периода. Интензитет максималног померања за читав истраживани период износио је **617 m**. Његов успорени развој у рецентном периоду условљен је специфичним физичко-географским положајем и појавом густе вегетације у обалском појасу. Истраживачки сектор IV карактерише се постојањем три меандарске кривине које су

издиференциране тек 2000. године. Пре тога, читав сектор одликовала је веома нестабилна речна траса која је често мењала свој положај како дејством процеса ерозије обала, тако и усецањем нових речних корита и рукаваца (некада и на удаљености од преко 500 m од основног речног корита). Стога, није било могуће извршити потпуну квантификацију интензитета латералног померања у периоду пре 2000. године. Међутим, добијени резултати за период последњих 20 година указују на веома висок интензитет латералне миграције М7 (**20,9 m/год**), умерену М6 (**11,5 m/год**) и слабију М5 (**5,75 m/год**).

Након детерминисаних показатеља латералног померања приступило се *квантификацији процеса ерозије и акреације* на истим секторима. Добијени резултати су указали на високу деградациону моћ М3 са **67,8 ha** (30,5%) деградираних површина у периоду 1924-2020. године. Након њега следе збирно меандри са четвртог сектора са **65,9 ha** (29,7%), М4 са **50,1 ha** (22,6%) и на крају збирно меандри првог сектора са **38,1 ha** (17,2%). Према томе, укупно је на простору седам менадара у периоду од 97 година изгубљено је **221,9 ha** или **2,21 km²** земљишних површина процесом ерозије обала. Резултати анализираних области акреације указују на нешто виши ниво у периоду након 1960-их година на свим истраживачким секторима.

Рецентне промене интензитета ерозије обала установљене након теренских истраживања представљале су кључни сегмент истраживања. Најинтензивнији процес латералног померања у трајању од две године (новембар 2019 – новембар 2021) регистрован је на М3 и износи **104,8 m**. Посматрајући краће временске секвенце можемо утврдити да је максимум померања регистрован током трећег временског периода (новембар 2020 – март 2021) када су за непуна четири месеца забележене изразито велике вредности процеса ерозије обала од 11,7 m (2,9 m/месечно) на профилима број 5 и 4, до 42,7 m (10,7 m/месечно) и **47,7 m (11,9 m/месечно)** на профилима број 3 и 2. Претходним истраживањима утврђена је изразито висока динамика М3 и током периода 2018/17. године када је регистрована стопа максималног померања у вредности од **преко 100 m за годину дана**. У истом периоду дуж М3 неповратно је изгубљено 0,27 ha земљишних површина, са посебним акцентом на период новембар 2020 – март 2021. године. У рецентном периоду добијена вредност интензитета ерозије обала највиша је на читавом току Јужне Мораве.

По интензивности процеса се на другом месту налази се М7 код којег је вредност максималне стопе померања износила око **27 m** за период од две године, као и М1 са **23,04 m** и М2 са **22 m**. Остала два меандра (М3 и М5) одликују се знатно нижим вредностима латералног померања, али и ерозије обала. На основу добијених резултата може се истаћи да је укупно процесом ерозије обала на четири истраживана сектора реке Јужне Мораве и седам репрезентативних меандарских кривина деградирано **4,66 ha** површине у периоду од две године.

Након добијених резултата приступило се анализи узрока и последица утврђеног интензитета. Приликом *анализе основних последица* детерминисан је висок степен деградације ораничних површина које су показале најмању отпорност од свих категорија земљишта. Њихов удео у укупној деградираној површини износи око 44%, са најзначајнијим уделом на простору М3. Када се њима додају и друго пољопривредно земљиште укључујући пашњаке, ливаде, вртове и трстике проценат је још значајнији. Већу стабилност у односу на ораничне површине показало је остало пољопривредно и непољопривредно земљиште, иако је бројчано заступљеније у укупном губитку. Наиме, оно у старту обухвата много значајнију површину дуж обалског појаса, због специфичних физичко-географских карактеристика, па и не чуди његова доминантност дуж обала М2 и М4. Због непостојања адекватних података земљишни губици за четврти сектор урађени су само за период последњих 10 година (М6 – доминира пољопривредно земљиште; М5 – доминира спрудно и шумско-жбунасто земљиште; М7 – подједнака заступљеност обе категорији уз мањи удео ливада и антропогених творевина). Међутим, посматрајући последице губитка земљишних површина у периоду 2019-2021.

године констатује се да је удео ораница око 59%, што указује на завршну фазу деградације шумско-жбунасте обалске вегетације и све веће приближавање врха меандара најквалитетнијим ораничним површинама.

Резултати анализираних *економских последица* указали су на велики значај процеса ерозије обала на материјалне губитке локалних домаћинстава чије су ораничне површине лоциране дуж деградираних меандара. За три истраживана меандра лоцирана на простору Алексиначке котлине процењени су реални економски губици у вредности од 1.212.877 EUR за читав истражни период. Свакако, добијени број представља само процену, а за детаљнију анализу потребно је укључити и све додатне трошкове пољопривредне производње, као и остале пољопривредне површине нижег бонитета. На исти начин процењени материјални губици пољопривредника у периоду новембар 2019 – новембар 2021. године износили су готово 5.000 EUR или у просеку 2.497 EUR/годишње. С обзиром на највиши интензитет процеса ерозије обала који је регистрован на М3 извршена је процена исплативости изградње обалоутврде 2011. године (на почетку периода повећаног интензитета). Резултати су указали стање потпуне исплативости 2040. године, под претпоставком исте динамике процеса ерозије обала, као у периоду последњих 10 година.

Последњи сегмент дисертације обухватио је *анализу главних узрока* добијених вредности интензитета. Наиме, од великог броја узрока, хидролошки су препознати као најважнији што је и након њихове детаљне анализе потврђено. На основу квантификованих вредности ерозије обала и максималне стопе померања са једне стране и вредности најрелевантнијих хидролошких показатеља (средњегодишњи протицај, средњемаксимални протицај, број водних година, просечан број водних година и број дана са екстремним хидролошким догађајима) проучавана је математичка зависност у циљу уочавања међусобне условљености. Крајњи циљ укључио је указивање на значај утицаја појединачних екстремних хидролошких догађаја на повећање интензитета процеса ерозије обала. Добијени резултати су указали на најмању зависност процеса ерозије обала од варијација у средњегодишњем протицају, умерену зависност када је у питању број водних година, високу зависност у односу на максималне протицаје и готово потпуну зависност (вредност корелације увек преко 0,8) у односу на екстремне хидролошке догађаје. Највишу зависност показао је М3 у односу на хидролошке параметре ХС Корвинград (нпр. однос максималне латералне миграције М3 према Q_{sr} износи 0,49, према Q_{max} 0,71, броју водних година 0,41, просечном броју водних година **0,85** и према Q_{bd} **0,95**). Наведени подаци указују на потпуну доминацију утицаја хидролошких фактора јер се чак вршећи поређење и са најопштијим од свих (средњегодишњим протицајем) увиђа умерено јака корелација.

Након детаљне анализе утицаја свих хидролошких параметара на интензитет ерозије обала у 97-годишњем периоду, посебно су истакнути хидролошки догађаји у последње две године. С тим у вези, уочено је да један или пар кратких екстремних хидролошких догађаја могу покренути ерозију обала очекивану за вишегодишњи, па чак и деценијски период. Управо је такав догађај из јануара 2021. године одговоран за апсолутно највећи степен ерозије обала и латералног померања на свим меандрима који је регистрован у периоду новембар 2020 – март 2021. године. Кроз анализу узрока указан је и значај *вегетације* у стабилизацији обалског појаса (пример утицаја шумског појаса на смањен интензитет ерозије обала М3) и *климатолошке показатеље* (с обзиром на директан утицај који имају на појаву екстремних хидролошких догађаја, кроз количину падавина и промене температуре која утиче на отапање снежног покривача у вишим деловима слива).

Након анализе свих резултата, уочених законитости и датих закључака може се сагледати тачност постављених хипотеза пре почетка израде докторске дисертације. Већина датих хипотеза је у потпуности или делимично потврђена на шта указују закључци и запажања аутора која су прожета кроз анализу резултата истраживања. Да се обале Лужне Мораве у доњем и средњем делу тока, у просторно-временском оквиру, интензивно латерално померају

указано је квантификацијом резултата о интензитету латералног померања и ерозије обала (*Хипотеза 1*). Секундарна *хипотеза (1а)*, да је процес ерозије обала посебно интензиван средином проучаваног периода због значајних варијација различитих природних и антропогених показатеља може се сматрати такође оправданом. Наиме, регистровани процес због високе варијабилности климатско-хидролошких фактора јесте доживео максимум током 60-их година прошлог века о чему сведоче добијени подаци. У истом периоду су извршене и бројне регулације и антиерозивни радови у сливу који су сигурно имали значајан утицај на процес ерозије обала и његову стагнатност у периодима након тога. *Хипотеза 2* која означава да се интензитет промене на референтним секторима Јужне Мораве карактерише различитим вредностима због варијације локалних физичко-географских услова који поспешују/редукују интензитет ерозије обала је потврђена кроз урађену анализу утицаја вегетације. Њена кључна улога огледа се у типу животне форме која је распрострањена на конкавној страни меандра, али и дубини њеног корења и величини – на тај начин повећава се кохезивност обалског појаса што га чини више резистентним према процесу ерозије обала (нпр. М4).

Кроз анализу и закључке доказано је да најзначајнији утицај на појаву високог интензитета процеса ерозије обала имају варијације хидролошких параметара, а посебно интензитет и учесталост појаве екстремних вредности (*Хипотеза 3*). Због све веће фреквенције појаве екстремних хидролошких догађаја у последњих 10 година, али и утицаја антропогених активности (експлоатације шљунка и песка) на већини истраживаних сектора постојан је тренд интензивирања процеса ерозије обала. То се посебно види на примерима М1, М2, М3, М6 и М7, док је код М4 и М5 постојан благ пораст интензитета ерозије обала. Према томе, потврђена је и *Хипотеза 4* која је и кључна за савремену оправданост проучаване тематике. Последња *Хипотеза 5*, којом је претпостављено да процес ерозије обала Јужне Мораве на простор и животну средину утиче кроз губитак пољопривредног земљишта лоцираног уз конкавну обалу реке, је нарочито важна. Кроз спроведену анализу у вези са последицама процеса може се уочити знатан губитак и највиши интензитет деградације пољопривредних површина (што изазива економске и еколошке последице). Међутим, потребно је нагласити и значајан удео осталих категорија деградације земљишта, посебно у току ранијих временских секвенци.

На крају, потребно је указати на научни и практични значај проучаване проблематике и добијених резултата и закључака. Утврђивање интензитета и квантификовање процеса ерозије обала и латералне миграције, пре свега је важно у циљу *детерминисања генезе и еволуције просторно-временске варијабилности речних токова током референтних временских интервала*. Добијени резултати омогућавају компарацију са вредностима основних параметара који их условљавају. Међутим, сагледавање последица који процес има на природне и антропогене системе одређеног простора је од највеће важности. С обзиром на чињеницу да заступљеност проблематике ерозије обала није довољно присутна у научним радовима из области физичке географије, значај још више долази до изражаја. Поред тога, стиче се утисак да иако постојан на великој површини Србије, интензитет и последице датог процеса нису препознате ни у широј јавности, ни међу доносиоцима одлука. Свакако, томе доприноси и већинска угроженост индивидуалних и приватних домаћинстава, док се са појавим појединачних случајева угрожавања живота људи или јавних институција углавном проблем реши брзом, али некада не и трајном интервенцијом (нпр. низводни меандар од М3).

С обзиром на утврђене високе стопе интензитета процеса ерозије обала у последњих десет година, а према хидролошкој анализи која прогнозира све чешћу појаву екстремних хидролошких догађаја, у наредним деценијама могу се очекивати знатно веће последице. *Потенцијална угроженост насеља Грданица и Тешица или ауто-пута А1* могу бити покретачи за свеобухватно и детаљно проучавање поменутог процеса на националном, регионалном или локалном нивоу. У том контексту први степен може се односити на израду *Катастра деградираних површина*, одређивање основних морфометријских и географских карактеристика свих деградираних области. Такав вид документа представљаће базу за даље *управљање процесом ерозије обала*. Управо у том сегменту може доћи до изражаја значај

географа у анализи простора. У другој фази се исти резултати могу користити и практично применити у више сфера, укључујући *управљање водним и земљишним ресурсима, конзервацији земљишта, просторном планирању, хидротехници и заштити животне средине*. Добијени резултати могу послужити и као подлога за израду *планова и карата управљања поплавним ризиком* (дефинисаним ЕУ директивом о водама 2006/2007), за израду *идејног решења уређења водотока* и као подлога за израду *студије управљања наносом*.

Најважнији доприноси дисертације:

- Формирана база података са подлогама неопходним за анализу процеса (картографске подлоге, ортофото и сателитски снимци);
- Креирана и систематизована база хидролошких података у дужини трајања од готово једног века (средњегодишње, месечне, дневне и екстремне вредности);
- Дефинисан геопросторни оквир истраживања, укључујући избор најугроженијих меандара Јужне Мораве релевантних за истраживање морфолошке еволуције обала и дефинисање интензитета процеса;
- Успостављен мониторинг процеса на изабраним секторима (меандрима) применом непосредних теренских истраживања и даљинске детекције;
- Обављене неопходне припреме за теренско истраживање (самостална обука коришћења беспилотне летелице), самостално снимање терена и обрада снимака;
- Квантификован интензитет померања речних обала за сваки сектор (меандар);
- Извршена детаљна просторно-временска анализа интензитета процеса (морфолошка еволуција обала, интергодишњи и интрагодишњи интензитет процеса), као и компарација добијених резултата;
- Извршена анализа утицаја антропогених активности на процес интензивног померања обала;
- Дефинисане математичке зависности различитих узрока, активатора процеса ерозије обала и латералног померања тока Јужне Мораве, што је од посебне важности за предикцију интензитета процеса, али и за израду просторно-планске документације и правилну намену коришћења земљишта;
- Утврђено да су варијације максималне латералне миграције и до 85% статистички условљене варијацијама у просечном броју водних година;
- Резултати регресионе анализе указали на изузетно високу условљеност интензитета максималног латералног померања тока Јужне Мораве у односу на просечан број дана када је достигнут Q_{bd} (0,906);
- Анализом просечног броја дана са протицајем вишим од $803 \text{ m}^3/\text{s}$ и латералне миграције водотока уочена изузетно висока корелација, са вредношћу коефицијента од 0,95;
- Доказано, да што се више подиже праг екстремности одређеног хидролошког дешавања, јача је веза са процесом интензитета ерозије обала;
- Извршена предикција будуће динамике процеса ерозије обала на основу повратних периода одређених водних таласа;
- Детерминисан утицај вегетације на стабилност речних обала Јужне Мораве;
- Квантификоване последице померања речних обала Јужне Мораве: губитак и промена намене коришћења земљишта, губитак услед смањења пољопривредне производње, итд.

Комплексност дефинисаног предмета и циљева истраживања огледа се у широком спектру могућности за будућа научна истраживања и допуну постојећих резултата утврђених овом дисертацијом. Добијени модели дозвољавају предикцију интензитета процеса, што је од посебне важности за израду просторно-планске документације и правилну намену коришћења земљишта. С обзиром на интердисциплинарност проблематике латералног померања тока перспективе даљих истраживања могу укључити комплетнију разраду тематике економских последица квантификујући све важне елементе, али и разраду новог концепта еколошких

ефеката. Такође, израда карте ерозије слива Јужне Мораве и детерминисање транспорта речног наноса представљају наредни истраживачки задатак у циљу утврђивања директног утицаја на процес ерозије обала, а посебно акумулацију материјала. Поменуто представља основу за даљу процену транспортне способности тока Јужне Мораве за вучени нанос, кроз гранулометријску анализу наноса из речног корита. Исто тако, утврђени интензитети латералног померања током последње две године указују на повишен степен деградације, па је стога неопходно наставити мониторинг, а у даљим потенцијалним истраживачким подухватима укључити и друге угрожене деонице. Будуће перспективе налажу и сарадњу са стручњацима из других научних дисциплина и праксе у циљу потпуне разраде проблематике процеса ерозије обала Јужне Мораве.

10. ЛИТЕРАТУРА

- Ahmed, A. & Fawzi, A. (2011). Meandering and bank erosion of the river Nile and its environmental impact on the area between Sohag and El-Minia, Egypt. *Arab Journal of Geosciences*, 4, 1-11.
- Aktar, N. (2013). Historical Trend of Riverbank Erosion Along the Braided River Jamuna. *International Journal of Sciences*, 11(1), 173-180.
- Allaby, M. (ed.). (2008). *A Dictionary of Earth Sciences (3rd edition)*. Oxford: Oxford University Press.
- Ali, R., Ahmend, Z., Islam, A. & Rahman, M. (2021). River Bank Erosion, Induced Population Migration and Adaptation Strategies in the Sirajganj Sadar Upazila, Bangladesh. *European Journal of Environment and Earth Sciences*, 2(2), 39-47.
- Angulo, K. G. & Lee, K. T. (2022). Detecting the Planform Changes Due to the Seasonal Flow Fluctuation and 2012 Severe Flood in the Amazon River near Iquitos City, Peru Based on Remote Sensing Image Analysis. *Water*, 14, 509. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14030509>.
- Arobi, S., Naher, J. & Soron, T. R. (2019). Impact of River Bank Erosion on Mental Health and Coping Capacity in Bangladesh. *Global Psychiatry*, 2(2), 1-6.
- Ashraf, M. & Shakir, A. S. (2018). Prediction of river bank erosion and protection works in a reach of Chenab River, Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 145. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3493-7>.
- Aslam, R. M. S., Mayo, S. M., Ahmad, I., Ahmad, N. & Arif, H. (2021). Riverbank Erosion & Consequent Land Settlement Issues: A Case of River Chenab, District Hafizabad. *International Journal of Innovations in Science & Technology*, 3(4), 152-165.
- Augustowski, K. & Kukulak, J. (2021). The Role of Frost Processes in the Retreat of River Banks. *Water*, 13, 1812. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13131812>.
- Babić, L., Pribičević, B. & Đapo, Z. (2017). Geodetic Mobile Survey Methods for Riverbank Erosion Observations. *Geodet. List*, 1, 41-54.
- Babić-Mladenović, M. (2018). *Uređenje vodotoka*. Beograd: Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“.
- Bernier, J., Chassiot, L. & Lajeunesse, P. (2021). Assessing bank erosion hazards along large rivers in the Anthropocene: a geospatial framework from the St. Lawrence fluvial system. *Geomatics*, 12(1), 1584-1615. DOI: 10.1080/19475705.2021.1935333.
- Bertalan, L., Novak, T., Nemeth, Z., Rodrigo-Comino, J., Kertesz, A. & Szabo, S. (2018). Issues of Meander Development: Land Degradation or Ecological Value? The Example of the Sajó River, Hungary. *Water*, 10, 1-21.
- Bertalan, L., Rodrigo-Comino, J., Surian, N., Šulc Michalkova, M., Kovacs, Z., Szabo, S. & Hooke, H. (2019). Detailed assessment of spatial and temporal variations in river channel changes and meander evolution as a preliminary work for effective floodplain management. The example of Sajó River, Hungary. *Journal of Environmental Management*, 248, 1-19.
- Blanka, V. & Kiss, T. (2011). Effect of different water stages on bank erosion, case study on River Henrad, Hungary. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6(2), 101-108.
- Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G., Bilibashi, A., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G., Claps, P., Fiala, K., Frolova, N., Gorbachova, L., Gül, A., Hannaford, J., Harrigan, S., Kireeva, M., Kiss, A., Kjeldsen, T., Kohnová, S., Koskela, J., Ledvinka, O., Macdonald, N., Mavrova-Guirguinova, M., Mediero,

- L., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Murphy, C., Osuch, M., Ovcharuk, V., Radevski, I., Rogger, M., Salinas, J., Sauquet, E., Šraj, M., Szolgay, J., Viglione, A., Volpi, E., Wilson, D., Zaimi, K. & Živković, N. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357(6351), 588-590.
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R.A.P., Parajka, J., Merz, B., Lun, D., Arheimer, B., Aronica, G.T., Bilibashi, A., Boháč, M., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G.B., Claps, P., Frolova, N., Ganora, D., Gorbachova, L., Gül, A., Hannaford, J., Harrigan, S., Kireeva, M., Kiss, A., Kjeldsen, T.R., Kohnová, S., Koskela, J.J., Ledvinka, O., Macdonald, N., Mavrova-Guirguinova, M., Mediero, L., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Murphy, C., Osuch, M., Ovcharuk, V., Radevski, I., Salinas, J.L., Sauquet, E., Šraj, M., Szolgay, J., Volpi, E., Wilson, D., Zaimi, K. & Živković, N. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573, 108-111.
- Bolinaga, C. & Fox, G. (2018). Streambank Erosion: Advances in Monitoring, Modeling and Management. *Water*, 10, 1346.
- Borisov, M., Banković, R. & Drobňak, S. (2011). Evaluacija morfometrijskih karakteristika zemljišta pri izradi karte tenkoprohodnosti. *Vojnotehnički Glasnik*, 1/11, 62-80.
- Brice, J. (1984). Planform properties of Meandering Rivers. In: *River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers '83*, ed. C.M. Elliott, 1–15. New York: American Society of Civil Engineers.
- Brown, R. A., Pasternack, G. B. & Wallender, W. W. (2014). Synthetic River Valleys: Creating Prescribed Topography for Form-Process Inquiry and River Rehabilitation Design. *Geomorphology*, 214, 40-55.
- Bull, L. (1997). Magnitude and variations in the contribution of bank erosion in the suspended sediment load of the River Severn, UK. *Earth Processes and Landforms*, 22, 1109-1123.
- Bufe, A., Turowski, J., Burbank, D., Paola, C., Wichreht, A. & Tofelde, S. (2019). Controls on the lateral channel-migration rate of braided channel systems in coarse non-cohesive sediment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(14).
- Buffington, J. M. & Montgomery, D. R. (2019). Geomorphic classification of rivers. An updated review. In: Shroder, J.; Wohl, E., (ed.). *Treatise on Geomorphology; Fluvial Geomorphology*, 9. San Diego, CA: Academic Press, 730-767.
- Camporeale, C., Perucca, E., Ridolfi, L. & Gurnell, A. M. (2013). Modeling the interactions between river morphodynamics and riparian vegetation. *Reviews of Geophysics*, 51(3), 379-414.
- Candel, J., Kleinans, M., Makaske, B. & Wallinga, J. (2021). Predicting river channel pattern based on stream power, bed material and bank strength. *Progress in Physical Geography*, 45(2), 253-278.
- Carroll, R. W. H., Warwick, J. J., James, A. I. & Miller, J. R. (2004). Modeling erosion and overbank deposition during extreme flood conditions on the Carson River, Nevada. *Journal of Hydrology*, 297, 1-21.
- Chakrabarti, P., Nag, S. & Mitra, A. P. (2001). Changing drainage patterns of the Ganga-Bhagirathi systems in Historic times: a study based on remote sensing technology. *Indian journal of Geology*, 73, 34-51.
- Chasiot, L., Lajeunesse, P. & Bernier, J. (2020). Riverbank erosion in cold environments: Review and outlook. *Earth science reviews*, 207, 103231.
- Church, M. & Ferguson, R. I. (2015). Morphodynamics: Rivers beyond steady state. *Water Resources Research*, 51, 1883–1897. DOI: 10.1002/2014WR016862.

- CORINE Land cover (2018). Retrieved from: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (05.01.2022.).
- Dabojani, D., Mithun, D. & Kanak, K. (2014). River Change Detection and Bankline Erosion Recognition using Remote Sensing and GIS. *Forum geografic. Studii și cercetări de geografie și protecția mediului*, 13(1), 12-17.
- Das, N. & Bhowmik, M. (2013). Qualitative Assessment of River Bank Erosion Risk in Jirania Rural Development Block, Tripura. *Indian Journal of Applied Research*, 3(6), 274-276.
- Das, P. (2012). Study of Barak River Meander and Associated Hazard around Silchar Town, Assam, using Remote Sensing and GIS. *Earth Science India*, 5(2), 51-59.
- Das, T., Hladar, S., Gupta, I. & Sen, S. (2014). River Bank Erosion Induced Human Displacement and Its Consequences. *Living Rev. Landscape Resources*, 8(3), 1-34.
- Das, T., Haldar, S., Sarkar, D., Borderon, M., Kienberger, S., Gupta, I., Kundu, S. & Guha-Sapir, D. (2017). Impact of Riverbank erosion: A case study. *Australasian Journal of Disaster and Trauma Studies*, 21(2), 73-81.
- Dave, N. & Mittelstet, A. (2017). Quantifying effectiveness of streambank stabilization practices on Cedar River, Nebraska. *Water*, 9, 930, 1-13.
- Davis, J.C. (1986). *Statistics and data analysis in Geology*. Hoboken: Jogn Wiley & Sons.
- Debnath, J., Das, N., Ahmed, I. & Bhowmik, M. (2017). Channel migration and its impact on land use/land cover using RS and GIS: A study on Khowai River of Tripura, North-East India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20, 197-210.
- Dekaraja, D. & Mahanta, R. (2020). Riverbank Erosion and Migration Inter-Linkage: with spatial focus on Assam, India. *Environmental Systems Research*, 10(6).
- Depret, T., Gautier, E., Hooke, J., Grancer, D., Vermoux, C. & Brunstein, D. (2017). Causes of planform stability of a low-energy meandering gravel-bed river (Cher River, France). *Geomorphology*, 285, 51-81.
- Dikmić, D. (2018). Observed climate and hydrologic changes in Serbia—What has changed in the last ten years. *Proceedings*, 2, 616: DOI: 10.3390/proceedings2110616.
- Dimitrijević, M., Dragić, D., Karamata, S., Sikošek, B., Petrović, B. & Veselinovi, D. (1980). *Tumač za Osnovnu geološku kartu, list Bela Palanka K34-33*. Beograd: Savezni geološki zavod.
- Dragicevic, S., Zivkovic, N., Roksandic, M., Kostadinov, S., Novkovic, I., Tomic, R., Stepic, M., Dragicevic, M. & Blagojevic, B. (2012). Land Use Changes and Environmental Problems Caused by Bank Erosion: A Case Study of the Kolubara River Basin in Serbia. *Environmental Land Use Planning*, Seth Appiah-Opoku (Ed.), InTech, 3-20.
- Dragičević, S., Tošić, R., Stepić, M., Živković, N. & Novković, I. (2013). Consequences of the River Bank Erosion in the Southern Part of the Pannonian Basin: Case Study Serbia and the Republic of Srpska. *Forum geografic. Studii și cercetări de geografie și protecția mediului*, 12(1), 5-15.
- Dragičević, S., Pripužić, M., Živković, N., Novković, I., Kostadinov, S., Langović, M., Milojković, B. & Čvorović, Z. (2017a). Spatial and Temporal Variability of Bank Erosion during the Period 1930–2016: Case Study—Kolubara River Basin (Serbia). *Water*, 9, 748.
- Dragicevic, S., Stojanovic, Z., Manic, E., Roksandic, M., Stepic, M., Zivkovic, N., Zlatic, M. & Kostadinov, S. (2017b). Economic consequences of bank erosion in the lower part of the Kolubara River Basin, Serbia. *Environmental engineering and management journal*, 16(2), 381-390.

- Dragičević, S., Novković, I., Langović, M., Živković, N., Milojković, B. & Tošić, R. (2022). *Evolution and dynamics of the fluvial landscape in Serbia*. Springer. Accepted, in publishing process.
- Duan, G., Shu, A., Rubinato, M., Wang, S. & Zhu, F. (2018). Collapsing Mechanisms of the Typical Cohesive Riverbank along the Ningxia–Inner Mongolia Catchment. *Water*, 10.
- Finzi, C. (2015). River history and tectonics. *Philosophical transactions of the royal society*. 370, 2173-2192.
- Fleurant, C., Douvient, J. & Delahaye, D. (2013). Introduction du numéro thématique: Hydro-géomorphologie quantitative. *Géomorphologie Relief Processus Environnement*, 19(1), 3-6.
- Foucher, A., Sebastien, S., Rosalie, V., Olivier, C. & Marc, D. (2016). Quantification of bank erosion in a drained agricultural lowland catchment. *Hydrological Processes*, 1-14.
- Ghimire, S. K, Higaki, D. & Bhattarai, T. P. (2013). Estimation of Soil Erosion Rates and Eroded Sediment in a Degraded Catchment of the Siwalik Hills, Nepal. *Land*, 2, 370-391.
- Ghinassi, M., Nemeč, W., Aldinucci, M., Nehyba, S., Ozaksoy, V. & Fidolini, F. (2014). Plan – forme evolution of ancient meandering rivers reconstructed from longitudinal outcrop sections. *Sedimentology*, 61(4), 1-26.
- Ghosh, B. & Mukhopadhyay, S. (2021). Channel planform dynamics, avulsion and bankline migration: a study in the monsoon-dominated Dwarkeswar river, Eastern India. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(10).
- Giardino, J. & Lee, A. (2011). *Rates of Channel Migration on the Brazos River*. Department of Geology & Geophysics.
- Gilja, G., Oskoruš, D. & Kuspilić, N. (2010). Erosion of the Sava riverbed in Croatia and its foreseeable consequences. BALWOIS 2010 - Ohrid, Republic of Macedonia - 25, 29 May 2010.
- Goda, L., Kalosca, B. & Tamas, E. (2007). River bed erosion on the Hungarian section of the Danube. *Journal of Environmental Science for Sustainable Society*, 1, 47-54.
- Govi, M. & Turrilo, O. (1994). Problemi di riconoscimento delle fasce di pertinenza fluviabile. *Atti del 4 convegno internazionale di Geoingegneria "Difesa e valorizzazione del suolo e degli acquiferi"*. Associazione mineraria subalpina, Torino, 161-172 (in Italian).
- Grant, G. & Safeeq, M. (2016). Flows of the future - How will climate change affect streamflows in the pacific northwest? *Science findings*, 1-7.
- Greco, F., Zaharia, L., Ioana-Toroimac, G. & Armas, L. (2016). Floods and Flash-Floods Related to River Channel Dynamics. In: *Landform Dynamics and Evolution in Romania*. 1-24.
- Green, T., Beavis, S., Dietrich, C. & Jakeman, A. (1999). Relation stream-bank erosion to in-stream transport of suspended sediment. *Hydrological Processes*, 13, 777-787.
- Guneralp, I., Hales, B. & Filippi, A. (2011). Channel avulsion processes on the lower Brazos River, Texas. *TWDB Final Report*, 0904830968,88.
- Guo, X., Chen, D. & Parker, G. (2019). Flow directionality of pristine meandering rivers is embedded in the skewing of high-amplitude bends and neck cutoffs. *PNAS*, 116(47), 23448-23454.
- Guo, X., Gao, P. & Li, Z. (2021). Morphological characteristics and changes of two meandering rivers in the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Geomorphology*, 379, 107626.
- Gupta, N. (2012). *Channel platform dynamics of the Ganga-Padma system, India*. University of Southhempston, Faculty of Social and Human Sciences. Doctoral dissertation.

- Gurnell, A., Morrissey, I., Boitsidis, A., Bark, T., Clifford, N., Petts, G. & Thompson, K. (2006). Initial Adjustments Within a New River Channel: Interactions Between Fluvial Processes, Colonizing Vegetation, and Bank Profile Development. *Environmental Management*, 38, 580-596.
- Hai, D., Umeda, S. & Yuhi, M. (2019). Morphological Changes of the Lower Tadori River, Japan, over 50 Years. *Water*, 11, 1-16.
- Haque, A., Shishir, S., Mazumder, A. & Iqbal, M. (2022). Change detection of Jamuna River and its impact on the local settlements. *Physical Geography*. DOI: 10.1080/02723646.2022.2026075.
- Harpold, A. (2016). Diverging sensitivity of soil water stress to changing snowmelt timing in the Western U.S. *Advances in Water Resources*, 92, 116-129.
- Hiatt, M., Sonke, W., Addink, E., Dijk, W., Kreveld, M., Ophelders, T., Verbeek, K., Vlaming, J., Speckmann, B. & Kleinhans, M. (2019). Geometry and Topology of Estuary and Braided River Channel Networks Automatically Extracted from Topographic Data. *JGR Earth Surface*, 125(1), 1-19.
- Hickin, E. J. (1974). The development of meanders in natural river channels. *American Journal of Science*, 274, 414-42.
- Hill, T. (ed.) (1993). *Guidelines for Bank Stabilization Projects*. Washington: King County Department of Public Works Surface Water Management Division Seattle.
- Hohensinner, S. Hauer, C. & Muhar, S. (2018). River Morphology, Channelization, and Habitat Restoration. *Riverine Ecosystem Management*, 41-65.
- Hooke, J. M. (1979). An analysis of the processes of river bank erosion. *Journal of Hydrology*, 42, 39-62.
- Hooke, J. M. (1987). Changes in meander morphology. In Gardiner, V (ed.) *International geomorphology 1986 part I*, Wiley, Chichester, 591-609.
- Hooke, J. M. (2004). Cutoffs galore: occurrence and causes of multiple cutoffs on a meandering river. *Geomorphology*, 61, 225-238.
- Hooke, J. M. (2008). Temporal variations in fluvial processes on an active meandering river over a 20-year period. *Geomorphology*, 100, 3-13.
- Hooke, J. M. & Yorke, L. (2010). Rates, distributions and mechanisms of change in meander morphology over decadal timescales, River Dane, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 1601-1614.
- Horton, A. (2017). *Impacts of rapid land use change on the meandering dynamics of the Kinabatangan River*. Borneo: Cardiff University. Doctoral dissertation.
- Hossain, A., Alam, J. & Haque, R. (2021). Effects of riverbank erosion on mental health of the affected people in Bangladesh. *PLoS ONE*, 16(7), e0254782.
- Howlander, N. & Rahman, A. (2016). Riverbank Erosion and its Impact: A Study on Ganges River Affected Area. *Jagannath University Journal of Social Sciences*, 4(1-2), 73-85.
- Hughes, M. L., McDowell, P. F. & Marcus, W. A. (2006). Accuracy assessment of georectified aerial photographs implications for measuring lateral channel movement in a GIS. *Geomorphology*, 74(1-4), 1-16.
- Ilešič, S. (1947). Rečni režim v Jugoslavij. *Geografski vestnik*, 19, 71-110.
- Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ (2005). *Generalni projekat sa prethodnom studijom opravdanosti uređenja Južne Morave od Grdelice do sastava sa Zapadnom Moravom*. Beograd.

- IPCC (2018). Media reports on draft IPCC. *Special Report on Global Warming of 1.5 °C*. UK: Cambridge University Press.
- Jansen, J. D. & Nanson, G. C. (2010). Functional relationships between vegetation, channel morphology, and flow efficiency in an alluvial (anabranching) river. *Journal of Geophysical Research*, 115(F4), DOI: <https://doi.org/10.1029/2010JF001657>.
- Jautzy, T., Herrault, P., Chardon, C., Schmitt, L. & Rixhon, G. (2020). Measuring river platform changes from remotely sensed data- a Monte Carlo approach to assessing the impact of spatially variable error. *Earth Surface Dynamics*, 8, 471-484.
- Jung, H., Byun, Y., Chung, B., Choi, B. & Kim, J. (2010). Numerical analysis for integrity evaluation of river bank. *Journal of the Korean Geoenvironmental society*.
- Kiss, T., Fiala, K. & Sipos, G. (2008). Alterations of channel parameters in response to river regulation works since 1840 on the Lower Tisza River (Hungary). *Geomorphology*, 98, 96-110.
- Kiss, T., Andrasi, G. & Hernesz, P. (2011). Morphological alteration of the Drava as the result of human impact. *AGD Landscape & Environment*, 5(2), 58-75.
- Kiss, T., Amissah, G. & Fiala, K. (2019). Bank Processes and Revetment Erosion of a Large Lowland River: Case Study of the Lower Tisza River, Hungary. *Water*, 11, 1-17.
- Kite, G. (1989). Use of time series analysis to detect climate change. *Journal of Hydrology* 11(1), 259 -279.
- Kleinhans, M. (2010). Sorting out river channel patterns. *Progress in Physical Geography*, 34(3), 287-326.
- Kostadinov, S., Dragović, N., Zlatić, M. & Todosijević, M. (2008). Uticaj protiverozivnih radova u slivu reke Toplice uzvodno od brane „Selova“ na intenzitet erozije zemljišta. *Vodoprivreda*, 40(231-243), 115-126.
- Kostadinov, S., Braunović, S., Dragičević, S., Zlatić, M., Dragović, N. & Rakonjac, N. (2018). Effects of Erosion Control Works: Case Study – Grdelica Gorge, the South Morava River (Serbia). *Water*, 10(8), 1094.
- Kostadinov, S., Tošić, R., Hrkalo, D., Sudar, N., Kapović Solomun, M., Dragičević, S., Momirović, N., Cupać, R., Bosankić, G. & Bundalo, S. (2019). Kontrola erozije zemljišta u funkciji smanjenja rizika od poplava u slivu reke Vrbas, Republika Srpska. *Vodoprivreda* 51(300-302), 201-224.
- Kovačević-Majkić, J. & Urošev, M. (2014). Trends of mean annual and seasonal discharges of rivers in Serbia. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić", SASA*, 64(2), 143-160.
- Kumar, P., Rahman, V. & Yunus, A. (2017). Analysis on River Bank Erosion-Accretion and Bar Dynamics Using Multi-Temporal Satellite Images. *American Journal of Water Resources*, 5(4), 132-141.
- KWS (2020). Rezultati ogleđa za Centralnu Srbiju. U: *Prinosi kukuruza po regionima 2020. godine*. Preuzeto sa: <https://www.kws.com/rs/sr/kompanija/novosti/prinosi-kukuruza-po-regionima-za-2020--godinu/> (11.03.2022.).
- Lageweg, W. I., van Dijk, W. M., Baar, A.W., Rutten, J. & Kleinhans, M. G. (2014). Bank pull or bar push: what drives scroll-bar formation in meandering rivers?. *Geology*, 42, 319-322.
- Lall, U. & Mann, M. (1995). The Great Salt Lake: a barometer of low – frequency climate variability. *Water Resources Research*, 31(10), 2503-2515.

- Lane, S. N., Widdison, P. E., Thomas, R., Ashworth, P. J., Best, J. L., Lunt, I. A., Sambrook Smith, G. H. & Simpson, C. L. (2010). Quantification of braided river channel change using archival digital image analysis. *Earth surface processes and Landforms*, 35, 971-985.
- Langović, M., Manojlović, S. & Čvorović, Z. (2017). Trends of mean annual river discharges in the Zapadna Morava River Basin. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 97(2), 19-45.
- Langović, M. (2019). Annual and seasonal variations of river discharges in the South Morava River Basin (Republic of Serbia). In: *Proceedings of International Scientific Symposium New trends in Geography*, Ohrid, Republic of North Macedonia (p. 27-36). Ohrid: Macedonian Geographical Society. ISBN: 978-608-65155-6-0.
- Langović, M. (2020). Investigation of the lateral channel migration: A case study of the South Morava River (Serbia). *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 100(1), 1-21, DOI: <https://doi.org/10.2298/GSGD2001001L>.
- Langović, M., Dragičević, S., Novković, I., Živković, N., Tošić, R., Milojković, B. & Čvorović, Z. (2021). Assessment of the soil loss caused by riverbank erosion in Serbia. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 101(1), 31-47.
- Langović, M., Dragičević, S. & Živković, N. (2022). Determination of discharge cycles of the South Morava River (Serbia). *Proceedings of International Scientific Conference Geobalkanica 2022*, 45-57.
- Langston, A. & Tucker, G. (2018). Developing and exploring a theory for the lateral erosion of bedrock channels for use in landscape evolution models. *Earth Surface Dynamics*, 6, 1-27.
- Laskar, A. & Phukon, P. (2012). Erosional vulnerability and spatio-temporal variability of the Barak River, NE India. *Current Science*, 103(1), 80-86.
- Lawler, D. M. (1995). The impact of scale on the processes of channel-side sediment supply: a conceptual model. Effects of Scale on Interpretation and Management of Sediment and Water Quality (*Proceedings of a Boulder Symposium*, July 1995). IAHS, 226.
- Lawler, D. M., Couperthwaite, J., Bull, L. J. & Harris, N. M. (1997). Bank erosion events and processes in the Upper Severn basin. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1(3), 523-534.
- Leopold, L. B. & Wolman, M. G. (1957). River channel patterns: braided, meandering and straight. *US Geological Survey Professional Paper*, 282-B, Washington.
- Leopold, L.B., Wolman, G. M. & Miller, J. P. (1964). *Fluvial processes in Geomorphology*. San Francisco: W. H. Freeman and Co.
- Li, H., Xu, X., Wu, M. & Liu, Z. (2021). Spatiotemporal Evolution Trajectory of Channel Morphology and Controlling Factors of Yongding River, Beijing, China. *Water*, 13, 1489. <https://doi.org/10.3390/w13111489>.
- Li, J., Zhang, Y. & Ji, Q. (2020). Lateral Migration in a Wandering Reach of the Middle Yellow River in Response to Different Boundary Conditions. *Applied Sciences*, 10, 5229, DOI: [doi:10.3390/app10155229](https://doi.org/10.3390/app10155229).
- Li, L., Xixi, L. & Chen, Z. (2007). River channel change during the last 50 years in the middle Yangtze River, the Jianli reach. *Geomorphology*, 85, 185-196.
- Li, Z., Yu, G., Brierley, G., Wang, Z. & Jia, Y. (2017). Migration and cutoff of meanders in the hyperarid environment of the middle Tarim River, northwestern China. *Geomorphology*, 276, 116-124.
- Li, Z. & Gao, P. (2019). Channel adjustment after artificial neck cutoffs in a meandering river of the Zoige basin within the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Catena*, 172, 255-265.

- Lotsari, E., Vaaja, M., Flener, C., Kaartinen, H., Kukko, A., Kasvi, E., Hyyppä, H., Hyyppä, J. & Alho, P. (2014). Annual bank and point bar morphodynamics of a meandering river determined by high-accuracy multitemporal laser scanning and flow data. *Water resources research*, 5532-5559.
- Lovric, N. & Tomic, R. (2016). Assessment of bank erosion, accretion and channel shifting using remote sensing and GIS: Case study – lower course of the Bosna River. *Quaestiones Geographicae*, 35(1), 81-92.
- Luppi, L., Rinaldi, M., Teruggi, L., Darby, S. & Nardi, L. (2008). Monitoring and numerical modelling of riverbank erosion processes: a case study along the Cecina River (central Italy). *Earth surface processes and landforms*, 1754.
- Makaske, B. (2001). Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products. *Earth Science Reviews*, 53(3), 149-196.
- Mamun, A. A., Islam, A., Alam, E., Chandra Pal, S. & Alam, G. M. M. (2022). Assessing riverbank Erosion and Livelihood Resilience Using Traditional Approaches in Northern Bangladesh. *Sustainability*, 14, 2348. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14042348>.
- Marović, M., Toljić, M., Rundić, Lj. & Milivojević, J. (2007). *Nealpine Tectonics of Serbia*. Belgrade: Serbian Geological Society.
- Martić Bursać, N. Stričević, Lj., Nikolić, M. & Ivanović, R. (2016). Statistical analysis of average, high and low waters of the Toplica River. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 96(1), 26-45.
- Medel, I., Stubblefield, A. P. & Shea, C. (2020). Sedimentation and erosion patterns within anabranching channels in a lowland river restoration project. *International Journal of River Basin Management*.
- Menković, Lj., Koščal, M., Milivojević, M. & Djokić, M. (2018). Morphostructure relations on the territory of the Republic of Serbia. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 98 (2):1-28 DOI: [org/10.2298/GSGD1802001M](https://doi.org/10.2298/GSGD1802001M).
- Menting, F. & Meijles, E. (2019). Local Factors Determining Spatially Heterogeneous Channel Migration in a Low-Energy Stream. *Water*, 11, 2149. DOI: [doi:10.3390/w11102149](https://doi.org/10.3390/w11102149).
- Mikoš, M., Muck, P. & Savić, V. (2016) The Sava River channel changes in Slovenia. *Acta hydrotechnica*, 28/49.
- Mlouk, M. A., Algouti, A., Algouti, A. & Ourhizif, Z. (2018). Assessment of river bank erosion in semi-arid climate regions using remote sensing and GIS data: a case study of Rdat River, Marrakech, Morocco. *Estudios Geológicos*, 74(2), 1-16.
- Moghddam, P. & Rennie, C. (2018). Influence of Meander Confinement on Hydro Morphodynamics of a Cohesive Meandering Channel. *Water*, 10, 354.
- Mohiuddin, F. A. (2011). *Development of an integrated river bank erosion management framework in the Tidal Plain*. Bangladesh University of engineering and technology. Doctoral dissertation.
- Mondal, M., & Tripathy, B. (2020). Riverbank erosion and environmental degradation. *International Journal of Research*, 7(7), 302-313.
- Morrissey, L., Rizzo, D., Ross, D. & Young, E. (2009). *Quantifying Sediment Loading due to Channel Migration in Impaired and Attainment Watersheds in Chittenden County, VT*: Water Resources Research Act Program, Institute Vermont.

- Mustafić, S. (2012). *Geografski faktori kao determinante intenziteta erozije na primeru sliva Nišave*. Beograd: Geografski fakultet. Doktorska disertacija.
- Mustafić, S., Manojlović, P., Nikolić, M. & Dobrosavljević, T. (2014). Trend of suspended sediment load in the Velika Morava River in the period 1967-2007. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 94(4), 35-48.
- Nadudvari, A. & Czajka, A. (2014). Statistical calculation of the Tisza River channel changes along Vezseny and Martfu (Hungary) from 1873-2010. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(2), 57-70.
- Nanson, G. & Hickin, E. (1986). A statistical analysis of bank erosion and channel migration in western Canada. *Geological Society of American Bulletin*, 97, 497-504.
- Nanson, G. C. & Knighton, A. D. (1996). Anabranching rivers: Their cause, character and classification. *Earth Surface Processes Landforms*, 21, 217-239.
- Nardi, L., Rinaldi, M. & Solari, L. (2012). An experimental investigation on mass failures occurring in a riverbank composed of sandy gravel. *Geomorphology*, 163-164, 56-69. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.08.006.
- Nieznanski, P., Wyzga, B. & Obrdlik, P. (2008). Oder Border Meanders: A Concept of the Erdorible River Corridor and its implementation. In 4th ECRR Conference on River Restoration. Italy, Venice, 479-486.
- Ondruch, J. & Máčka, Z. (2015). Response of lateral channel dynamics of a lowland meandering river to engineering-derived adjustments - an example of the Morava River (Czech Republic). *Open Geoscience*, 7, 588-605.
- Ondruch, J., Máčka, Z., Šulc Michalková, M., Putiška, R., Knot, M., Holík, P., Miřijovský, J. & Jenčo, M. (2018). Response of channel dynamics to recent meander neck cut-off in a lowland meandering river with artificial training history: the Morava River, Czech Republic. *Hydrological Sciences Journal*, 63(8), 1236-1254.
- Pavlić, K. (2016). *Regionalna hidrološka analiza Krškog Porečja Kupe*. Zagreb: Rudarsko-geološko - naftni fakultet. Doktorski rad.
- Peacher, R. (2011). *Impacts of land use on stream bank erosion in the Northeast Missouri Claypan Region*. Iowa: Iowa State University. Master thesis.
- Petković, S. (1995). *Geneza i transport nanosa u slivu Južne Morave i uslovi njenog korišćenja*. Beograd: Šumarski fakultet Univerzitet u Beogradu.
- Petrović, B., Dimirijević, M. & Karamata, S. (1973). *Tumač za osnovnu geološku kartu, list Vlasotinca K-34-45*. Beograd: Savezni geološki zavod.
- Piegay, H., Cuaz, M., Javelle, E. & Mandier, P. (1999). Bank erosion management based on geomorphological, ecological and economic criteria on the Galaure River, France. *Regulated Rivers: Research and Management*, 13, 433-448.
- Piegay, H., Darby, S., Mosselman, E. & Surian, N. (2005). A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: A sustainable approach to managing bank erosion. *River research and applications*, 21, 773-789.
- Popov, D., Marković, S. & Štrbac, D. (2008). Generations of meanders in Serbian part of Tisa Valley. *Collection of papers Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA*, 58, 29-42.
- Prosdocimi, M., Calligaro, S., Sofia, G., Fontana, G. & Tarolli, P. (2015). Bank erosion in agricultural drainage networks: new challenges from structure-from-motion photogrammetry for post-event analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, DOI: 10.1002/esp.3767.

- Radivojević, D., Magyar, I. ter Borgh, M. & Rundić, Lj. (2014). The lake Pannon – Serbian side of the story. *16th Serbian Geological Congress*, Donji Milanovac.
- Radoane, M., Persoiu, I., Cristea, I. & Chiriloaei, F. (2013). River channel platform changes based on successive cartographic data. A methodological approach. *Revista de geomorphologie*, 15,69-88.
- Rahman, M., Islam, M. N. & Islam, M. N. (2016). Integrated approach of remote sensing and field survey data in assessment of bank erosion intensity of the Padma River in Bangladesh. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 7(2), 285-297.
- Rahman, S. & Gain, A. (2020). Adaptation to river bank erosion induced displacement in Koyra Upazila of Bangladesh. *Progress in Disaster Science*, 5, 100055.
- Richard, G. (2001). *Quantification and prediction of lateral channel adjustments downstream from Cochiti dam, Rio Grande, NM*. Colorado State University, Doctoral dissertation.
- Richard, G., Julieann, P. & Baird, D. (2005). Statistical analysis of lateral migration of the Rio Grande, New Mexico. *Geomorphology*, 71, 139-155.
- Rinaldi, M. & Darby, S. (2008). Modelling river-bank-erosion processes and mass failure mechanisms: progress towards fully coupled simulations. In: Habersack, H., Piegay, H. & Rinaldi, M. (ed.) *Gravel-Bed Rivers VI: From Process Understanding to River Restoration*, 213-239.
- Roksandic, M., Dragicevic, S., Zivkovic, N., Kostadinov, S., Zlatic, M. & Martinovic, M. (2011). Bank erosion as a factor of soil loss and land use changes in the Kolubara River Basin, Serbia. *African Journal of Agricultural Research*, 6(32), 6604-6608.
- Rosca, S., Bilasco, S., Petrea, D., Fodorean, I. & Vescan, E. (2015). Bankfull discharge and stream power influence on the Niraj River morphology. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Science*, 10(1), 133-146.
- Rosli, N.A.M., Ibrahim, S.L., Handan, R. & Salleh, N. (2021). Measurement of Riverbank Erosion Rates of Pusu River Using Erosion Pins Method. *International journal of integrated engineering*, 13(3), 142-147.
- Rusnak, M. & Lehotski, M. (2014). Time-focused investigation of river channel morphological changes due to extreme floods. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 58(2), 251-266.
- Rutherford, I., Vietz, G., Grove, J. & Lawrence, R. (2007). Review of Erosion Control Techniques on the River Murray Between Hume Dam and Lake Mulwala. *Murray River Bank Erosion Review*. University of Melbourne.
- Sahay et al., Rov, N. & Siddiqui, A. R. (2020). Understanding Riverbank Erosion in Majuli Island of India: Geomorphological Process and Policy Implications. *Focus on Geography*, 63, 1-21.
- Samsuzzaman, M. (2018). *Impact of Flood and River Bank Erosion on Livelihood Pattern: A Case Study on Brahmaputra River Bank at Sakhathi Char in Kurigram, Bangladesh*. DOI:10.13140/RG.2.2.21247.76962.
- Schumm, S. A. (1963). A tentative classification of alluvial river channels. *US Geological Survey Circular*, 477, 10.
- Schumm, S. A. & Khan, H. R. (1972). Experimental study of channel patterns. *Geological Society of America Bulletin*, 83(1), 755-770.
- Schwarz, U. (2016). *Sava White Book. The river Sava: Threats and Restoration Potential*. Radolfzell/Wien: EuroNatur/Riverwatch.

- Schweitzer, F. (2015). Drainage network development in the Pannonian basin. *Hungarian Geographical Bulletin*, 64(2), 101-119.
- Seele-Dilibat, C., Kretz, L. & Wirth, C. (2022). Vegetation of Natural and stabilized Riverbanks and early effects of removal of bank fixation. *Hydrobiology*, 107(1-2), 88-99.
- Shiklomanov, A. (1999). Climate change, hydrology and water resources: The work of the IPCC, 1988-94. In: *Impact of climate change and climate variability on hydrological regimes*, ed. Jan C. van Dam. UK: Cambridge University press.
- Shu, A. P, Li, F. H. & Yang, K. (2012). Bank-collapse disasters in the wide valley desert reach of the upper Yellow River. *Proceedia Environmental Sciences*, 13, 2451-2457.
- Shu, A., Duan, G., Rubinato, M., Tian, L., Wang, M. & Wang, S. (2019). An Experimental Study on Mechanism for Sediment Transformation Due to Riverbank Collapse. *Water*, 11, 529.
- Simon, A., Castro, J. & Rinaldi, M. (2016). Channel form and adjustment: characterization, measurement, interpretation and analysis. In: Kondolf, M. & Piegay, H. (ed.) *Tools in fluvial geomorphology*, second edition, 237-259.
- Stark, C., Barbour, J., Hayakawa, Y, Hattanji, T., Hovius, N., Chen, H., Lin, C., Horng, M., Hu, K., Fukahata, Y. (2010). The Climatic Signature of Incised River Meanders. *Science*, 327, 1497-1501.
- Strick, R. (2016). *Floodplain Geomorphology and Topography in Large Rivers*. University of Brighton, Doctoral dissertation.
- Surian., N. & Rinaldi, M. (2003). Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology* 50, 307-326.
- Sylvester, Z., Durkin, P. & Covault, J. (2019). High curvatures drive river meandering. *Geology*, 47(3).
- Teruggi, L., Rinaldi, M., Chiaverini, I. & Oustni, D. (2005). Integrated Methodology for Monitoring Fluvial Bank Erosion. *Geologica Romana*, 38, 25-29.
- Thorne, C. (1981). Field measurements of rates of bank erosion and bank material strength. Erosion and Sediment Transport Measurement. *Proceedings of the Florence Symposium, June 1981*. IAHS Publ. no. 133.
- Thorne, C. (2002). Geomorphic analysis of large alluvial rivers. *Geomorphology*, 44(3-4), 203-219.
- Tiegs, S. & Pohl, M. (2005). Planform channel dynamics of the lower Colorado River: 1976-2000. *Geomorphology*, 69(1), 14-27.
- Tošić, R., Lovrić, N. & Dragičević, S. (2014). Land use changes caused by bank erosion along the lower part of the Bosnia River from 2001 to 2013. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 94(4), 49-58.
- Vaculisteanu, G., Niculita, M. & Margarint, C. (2019). Natural hazards and their impact on rural settlements in NE Romania – A cartographical approach. *Open Geosciences*, 11, 765-782.
- van Dijk, W. (2013). *Meandering rivers Feedbacks between channel dynamics, floodplain and vegetation*. Utrecht Studies in Earth Sciences. Doctoral dissertation.
- van Dujin, D. F. (2018). *The effects of vegetation on riverbank stability in the Ayeyarwady River*. Delft: Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Doctoral dissertation.
- Vargas-Luna, A., Crosato, A., Hoitink, A. J. F., Groot, J. & Uijttewaal, W. S. J. (2016). Effects of riparian vegetation development in a restored lowland stream. In: *8th International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow*. St. Louis. USA.

- Veihe, A., Jensen, N., Schiots, I. & Nielsen, S. (2010). Magnitude and processes of bank erosion at a small stream in Denmark. *Hydrological processes*. DOI: 10.1002/hyp.7921.
- Verma, R. K., Ashwini, K. & Singh, A. (2021). Channel morphology and prediction of mid-line channel migration in the reach of Ganga River using GIS and ARIMA modeling during 1975-2020. *H2Open Journal*, 4(1), 321. DOI: 10.2166/h2oj.2021.124.
- Visconti, F., Camporeale, C. & Ridolfi, L. (2010). Role of discharge variability of pseudomeandering channel morphodynamics: Results from laboratory experiments. *Journal of Geophysical Research*, 115, 1-18. DOI: 10.1029/2010JF001742.
- Waldron, L. (1977). The shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil. *Soil Science Society of America Journal*, Division-1.
- Walega, A., Mlynski, D., Bogdal, A. & Kowalik, T. (2016). Analysis of the course and frequency of high-water stages in selected catchments of the upper Vistula Basin in the south of Poland. *Water*, 8, 394.
- Winterbottom, S. & Gilvear, D. (2000). A GIS-based approach to mapping probabilities of river bank erosion: regulated River Tummel, Scotland. *Regulated Rivers: Research and Management*, 16(12), 127-140.
- Woodbridge, K., Pirasteh, S. & Parsons, D. (2019). Investigating Fold-River Interactions for Major Rivers Using a Scheme of Remotely Sensed Characteristics of River and Fold Geomorphology. *Remote Sensing*, 11, 2037. DOI: 10.3390/rs11172037.
- Yan, X., Zhang, J., Li, Y. & Sun, L. (2021). Channel Migration of the Meandering River Fan: A Case Study of the Okavango Delta. *Water*, 13, 3319. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13233319>.
- Yang, S. L., Zhang, J. & Xu, X. J. (2007). Influence of the Three Gorges Dam on downstream delivery of sediment and its environmental implications, Yangtze River. *Geophysical Research Letters*, 34(10), L10401.
- Yang, S., Bai, Y. & Xu, H. (2018). Experimental Analysis of River Evolution with Riparian Vegetation. *Water*, 10, 1500.
- Yao, Z., Ta, W., Jia, X. & Xiao, J. (2011). Bank erosion and accretion along the Ningxia–Inner Mongolia reaches of the Yellow River from 1958 to 2008. *Geomorphology*, 127, 99-106.
- Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghase, H.R., Zakizadeh, H.R. & Tabibian, S. (2017). Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran). *Geomorphology*, 304, DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.12.03.
- Zagorchev, I. (2020). Geology of the Balkan Peninsula. In book: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*.
- Zaimes, G. N. & Schultz, R. (2015). Riparian land-use impacts on bank erosion and deposition of an incised stream in north-central Iowa, USA. *Catena*, 125, 61-73.
- Zamani, R., Mirabbasi, R., Abdollahi, S. & Jhajharia, D. (2016). Streamflow trend analysis by considering autocorrelation structure, long-term persistence, and Hurst coefficient in a semi-arid region of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. DOI: 10.1007/s00704-016-1747-4.
- Zerringer, B., Seliger, C., Greimel, F. & Schmutz, S. (2018). River Hydrology, Flow Alteration, and Environmental Flow. In: Schmutz S., Sendzimir J. (eds) *Riverine Ecosystem Management. Aquatic Ecology Series*, 8. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3_4.
- Zhang, N. & Rutherford, I. (2020). The effect of instream logs on river-bank erosion: Field measurements of hydraulics and erosion rates. *Earth surface processes and landforms*. DOI: 10.1002/esp.4838.

Zhang, Q., Chen, Y., Jiang, T. & Maotian, L. (2007). Channel changes of the Makou-Tianjiazhen reach in the middle Yangtze River during the past 40 years. *Journal of Geographical Sciences*, 442-452. DOI: 10.1007/s11442-007-0442-x.

Агенција за заштиту животне средине (2015). *Воде Србије у времену прилагођавања на климатске промене*. Београд: Министарство пољопривреде и заштите животне средине.

Борисављевић, А. & Костадинов, С. (2012). Интегрисано управљање речним сливом Јужне Мораве. *Гласник српског географског друштва*, 92(1), 135-160.

ВГИ (1969-1972). *Топографска карта 1:25000*. Београд.

ВГИ (1983-1985). *Топографска карта 1:50000*. Београд.

Вујевић, П. (1928). Извештај генералне дирекције вода. *Гласник српског географског друштва*, 14(1), 165-168.

Гавриловић, Ј. (1981). *Поплаве у СР Србији у XX веку – узроци и последице*. Посебна издања, 52. Београд: Српско географско друштво.

Гавриловић, Ј. & Дукић, Д. (2014). *Реке Србије*. Београд: Завод за уџбенике.

Генерална дирекција вода (1924-1945). *Извештај о воденим талозима, водостајима и количинама воде*. Сарајево.

Генерална дирекција вода (1924). *Карте Секције за испитивање реке Мораве*. Београд.

Главни генералштаб Географско одељење (189?). *Генералштабна карта Краљевине Србије, листови: Бања Алексиначка, Ниш, Лесковац и Алексинац*. Београд.

Димитријевић, М. Д. (1997). *Геологија Југославије*. Београд: Институт за геологију ГЕМИНИ.

Дирекција за уређење слива Велике Мораве (1966). *Програм радова за уређење слива Велике Мораве у периоду од 1966. до 1985. године*. Београд.

Драгићевић, С., Живковић, Н., Роксандић, М., Луковић, Ј. & Костадинов, С. (2015). *Рецентно стање, интензитет и последице деградације обала Колубаре на територији општине Обреновац*. Београд: Географски факултет.

Драгићевић, С. & Филиповић, Д. (2016). *Природни услови и непогоде у планирању и заштити простора*. Београд: Географски факултет.

Дукић, Д. & Гавриловић, Ј. (2006). *Хидрологија*. Београд: Завод за уџбенике.

Ђокић, М. (2015). *Нишава – потамолошка студија*. Ниш: ПМФ – Департман за Географију. Докторска дисертација.

Издавање водног акта за експлоатацију и депоновање речног наноса. Преузето са: <https://www.rdvode.gov.rs/doc/vodna-akta/IZDAVANJEV.AERN.pdf> (11.03.2022.).

Костадинов, С., Драгићевић, С., Стефановић, Т., Новковић, И., Момировић, Н., Ланговић, М. & Радовић, М. (2019). *Студија угрожености путева I и II реда од појаве поплава у сливу Јужне Мораве II део*. Наручилац: Јавно предузеће путеви Србије. Носилац пројекта: Институт за шумарство и Географски факултет, Београд.

Костић, М. (1969). Алексиначка котлина – друштвено-географска проучавања. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ САНУ*, 22, 453-591.

Манојловић, П., Драгићевић, С. & Мустафић, С. (2004). Основне морфометријске карактеристике рељефа Србије. *Гласник српског географског друштва*, 84(2).

- Манојловић, П. & Драгићевић, С. (2021). *Практикум из геоморфологије (друго допуњено издање)*. Београд: Географски факултет.
- Миловановић, Б. (2017). *Природни фактори колебања климе у Србији*. Посебно издање, 93. Београд: Географски Институт „Јован Цвијић“ САНУ.
- Николић, М. (2019). *Утицај природних и антропогених фактора на интензитет ерозије у сливовима Јабланице и Кутинске реке*. Универзитет у Београду, Географски факултет. Докторска дисертација.
- Новковић, И. (2016). *Природни услови као детерминанте геохазарда на примеру сливова Љига, Јошаничке и Врањскобањске реке*. Београд: Географски факултет. Докторска дисертација.
- Одељење катастра и државних добара (1938). *Катастарски план премера из 1938. године са допунским премером из 1960. године*. Ниш.
- Општа државна статистика (1924-1945). *Статистички годишњази Краљевине Југославије*. Београд.
- Основне геолошке карте Србије и Бугарске 1:100000. Листови: Алексинац, Ниш, Зајечар, Пирот, Бела Паланка, Врање, Власотинце, Урошевац, Трговиште, Подујево, Параћин, Нови Пазар, Лесковац, Куршумлија, Крушевац, Бољевац, Кумановао, Брезник, Белоградчик, Пирот, Власотинце-Брезник, Берковица и Софија. ВГИ. Београд.
- Оцокољић, М. (1994). *Цикличност сушних и водних периода у Србији*. Посебна издања, 41. Београд: Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ.
- Павловић, М. (2018). *Географија Србије 1*. Београд: Географски факултет.
- Петковић, С. & Обрадов-Петковић, Д. (2015). Усклађивање хидротехничких и еколошких циљева уређења речних токова и приобаља, на примеру Јужне Мораве. *Гласник шумарског факултета*, 92, 125-148.
- Политика (1937). *Изливање Јужне Мораве 20. априла*. Број 10470.
- Радоњић, Ј. (2018). *Хидролошки и псамолошки ефекти противерозивних радова на бујичним подсливовима Јужне Мораве*. Београд: Шумарски факултет. Докторска дисертација.
- Ракићевић, Т. (1969). Хидролошке одлике Јужне Мораве. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“*, 22, 201-225.
- Републички геодетски завод. Катастар непокретности. Приступљено: <https://katastar.rgz.gov.rs/e/KatastarPublic/PublicAccess.aspx>.
- Ристић, Р., Радић, Б., Милчановић, В., Малушевић, И. & Половина, С. (2015). Заштита од ерозије као предуслов развоја скијалишта на Старој планини. *Пиротски зборник*, 40, 1-27.
- РХМЗС (1946-2021). *Метеоролошки годишњази*. Београд.
- РХМЗС (1946-2021). *Хидролошки годишњази површинских вода*. Београд.
- РХМЗС (1991-2020). *Хидролошки годишњази подземних вода*. Београд.
- Симић, С. (2016). *Водни потенцијал и хидрогеографска рејонизација Ваљевских планина*. Београд: Географски факултет. Докторска дисертација.
- Службени гласник РС, бр. 37/94, 49/94. Правилник о катастарском класирању земљишта.
- Службени лист општине Алексинац, бр. 25/16. Изградња левог насипа код насеља Витковац и Љубеш. file:///C:/Users/Marko/Downloads/sluzbeni-list-20-2016.pdf.

Службени лист општине Алексинац, бр. 26/17. О доношењу плана детаљне регулације дела заштитног левообалног насипа реке Јужне Мораве. (https://www.paragraf.rs/opstinska-glasila/aleksinac/aleksinac_pdf/aleksinac-26-2017.pdf).

Стевановић, В. (2014). *Екоклиматске и балнеолошке карактеристике бањских насеља слива Јужне Мораве у функцији одрживог развоја*. Београд: Географски факултет. Докторска дисертација.

Уредба бр. 78/34/2017. Хитни радови на санацији леве обале реке Јужне Мораве код села Тешица. Преузето са: https://www.srbijavode.rs/app/hitni_sanacioni_radovi.php#.

Уредба бр. 66/21/2018. Санација леве нерегулисане обале реке Јужне Мораве у дужини од 250 m, узводно од ушћа реке Турије у насељу Банковац. Преузето са: https://www.srbijavode.rs/app/hitni_sanacioni_radovi.php#.

БИОГРАФИЈА

Марко Ланговић је рођен 1991. године у Београду, где је завршио основну школу и Осму београдску гимназију. Основне академске студије на Географском факултету Универзитета у Београду, студијски програм Географија, уписао је школске 2010/2011 и завршио у року са просечном оценом 9,88. Исте године уписао је мастер академске студије, студијски програм Географија. Одбраном мастер рада 2015. године са просечном оценом 10 стекао је звање мастер географ. Добитник је награде студента генерације Географског факултета и студијског програма Географија, 2015. године. Докторске академске студије Геонаука на Географском факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2015/2016 године. Од 2016. године запослен је на Географском факултету у Београду у звању асистента за ужу научну област Физичка географија. Тренутно је ангажован на припреми и реализацији вежби из предмета Хидрологија 1, Хидрологија 2, Хидрологија животне средине, Хидрологија у просторном планирању, Динамичка геоморфологија и Физичка географија. Објавио је више научних радова у националним и иностраним часописима из уже научне области Физичка географија и учествовао је на више међународних и домаћих конференција. Од 2018. године прикључен је на пројект Министарства просвете, науке и технолошког развоја (бр. 176017). Учествовао је у изради четири студије и био ангажован на једном међународном (2014) и једном националном пројекту (2022). У периоду 2016-2021. године технички је уредник часописа Гласник Српског географског друштва, као и главни уредник часописа БГ лист. Члан је Српског географског друштва.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Марко Ј. Ланговић

Број индекса: 02/2015

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ПРОСТОРНО-ВРЕМЕНСКА ДИНАМИКА ЕРОЗИЈЕ ОБАЛА ЈУЖНЕ МОРАВЕ

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: **Марко Ј. Ланговић**

Број индекса: **02/2015**

Студијски програм: **Геонауке**

Наслов рада: **Просторно-временска динамика ерозије обала Јужне Мораве**

Ментор: **др Ненад Живковић**

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ПРОСТОРНО-ВРЕМЕНСКА ДИНАМИКА ЕРОЗИЈЕ ОБАЛА ЈУЖНЕ МОРАВЕ

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.